

3465-185 2

O. PROF. DR.-ING. DR.-ING. E.H. KARL KORDINA  
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

WIRTSCHAFTLICHE GESTALTUNG  
DER WIDERLAGER VON BRÜCKEN

ABSCHLUSSBERICHT

ZUM FORSCHUNGSVORHABEN

VORGELEGT VON:

PROF. DR.-ING. DR.-ING. E.H. KARL KORDINA  
DIPL.-ING. THOMAS WESTPHAL



BRAUNSCHWEIG, AUGUST 1984

DAS FORSCHUNGSVORHABEN WURDE GEFÖRDERT VOM NIEDER-  
SÄCHSISCHEN MINISTER FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST  
AUS MITTELN DES ZAHLENLOTTOS UNTER DER NUMMER  
2091-BV4E-14/82

# I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	<u>Seite</u>
1. Allgemeines . . . . .	1
2. Gebräuchliche Bauformen . . . . .	3
3. Analyse des Tragverhaltens von Kastenwiderlagern . . . . .	12
3.1 Widerlagerwand . . . . .	12
3.1.1 Vertikallasten aus dem Brückenüberbau . . . . .	12
3.1.2 Horizontallasten aus dem Brückenüberbau . . . . .	14
3.1.3 Horizontallasten aus der Hinterfüllung . . . . .	17
3.2 Flügelwände . . . . .	19
4. Wirtschaftliche Ausbildung von Kastenwiderlagern . . . . .	24
4.1 Gemittelte Momentenbeiwerte . . . . .	26
4.2 Ermittlung der wirtschaftlichen Wandstärke . . . . .	31
4.3 Vergleich verschieden gelagerter Widerlagerwände . . . . .	35
4.4 Betrachtungen am Gesamtsystem Widerlagerwand - Flügelwand . . . . .	39
5. Verbesserte Bauformen von Widerlagern . . . . .	41
5.1 Verringerung der Beanspruchung im Bauwerk . . . . .	41
5.1.1 Aussteifungsscheiben und -balken . . . . .	41
5.1.2 Abspannungen und Zugbänder . . . . .	46
5.1.3 Faltwerke und Schalen . . . . .	50
5.1.4 Wechselwirkungen zwischen der Widerlagerwand und den Flügelwänden . . . . .	53
5.2 Verringerung der Belastung aus Erddruck . . . . .	56
5.2.1 Verkleinerung der Lastangriffsfläche . . . . .	57
5.2.2 Abschirmung des Erddrucks . . . . .	58
5.2.3 Verringerung der Erddruckbeiwerte . . . . .	59
5.2.4 Räumlicher Erddruck . . . . .	66
5.3 Typisierung und Vorfertigung . . . . .	68
5.3.1 Widerlager mit Aussteifungsrippen . . . . .	69
5.3.2 Stützwandwiderlager . . . . .	73
5.3.3 Widerlager aus Faltwerken . . . . .	76
5.3.4 Widerlager aus Segmenten . . . . .	79
6. Zusammenfassung . . . . .	82
7. Literaturverzeichnis . . . . .	85

## 1. ALLGEMEINES

Der Begriff des Widerlagers stammt aus dem Bogenbrückenbau, wo das Widerlager die Aufgabe hat, die mittig angreifenden Druckkräfte des Bogens gleichmäßig in den Baugrund zu verteilen (Bild 1). Wenn im folgenden von einem Widerlager die Rede ist, soll darunter jenes Bauteil verstanden werden, das bei Balken- und Plattenbrücken den Erddamm gegen die Brückenöffnung abschließt und das Ende des Brückenüberbaus trägt (Bild 2). Einem solchen Widerlager kommen folgende Aufgaben zu:

- Als stützendes Bauteil des Brückenüberbaus muß es die senkrechten Lasten (Eigengewicht, Verkehr, Auflagerkräfte aus dem Zwängungsanteil der Vorspannung etc.) und die waagerechten Lasten (Bremsen auf dem Überbau, Verschiebungswiderstände der Lager, Wind etc.) sicher in den Boden übertragen.
- Als Abschlußbauwerk des Straßendamms muß es die Lasten aus Erddruck (Hinterfüllung, Nutzlast auf der Hinterfüllung, Bremsen auf der Hinterfüllung) und sonstige, direkt angreifende Lasten (z. B. Seitenstoß) standsicher aufnehmen können.

Im Rahmen dieses Berichtes sollen verschiedene Konstruktionsformen von Widerlagern aufgezeigt und in ihrer Tragwirkung näher erläutert werden. Besondere Beachtung findet hierbei zunächst das Kastenwiderlager - die zur Zeit am häufigsten angewandte Widerlagerform. Insbesondere sollen Tragreserven, mögliche Verbesserungen und wirtschaftlich günstige Abmessungen aufgezeigt werden. Auch wird auf Bauweisen eingegangen, die sich durch besonders geringen Mate-

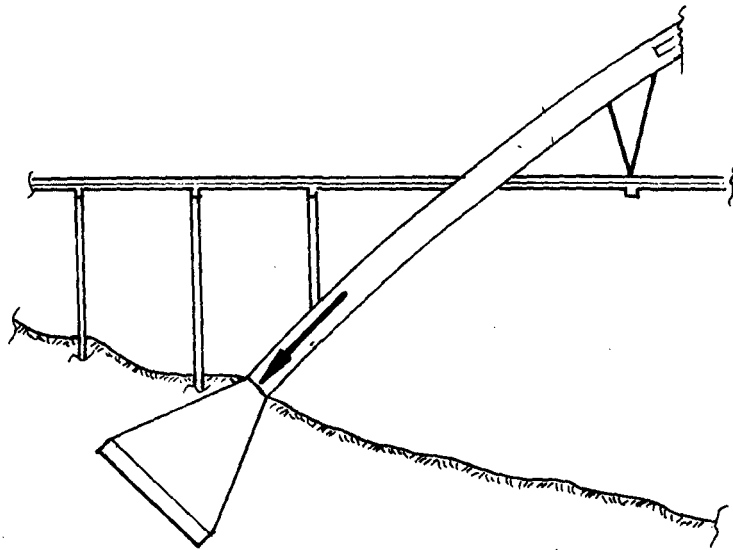


Bild 1: Widerlager einer Bogenbrücke

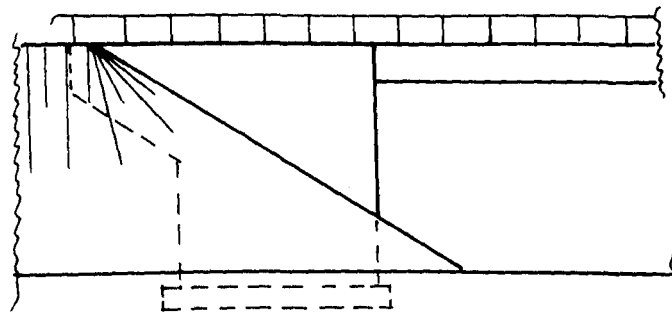


Bild 2: Kastenwiderlager einer Balkenbrücke

rialverbrauch auszeichnen - Widerlagerwände mit Aussteifungsrippen, Faltwerkwiderlager, Widerlager in Segmentbauweise. Des weiteren wird auf Möglichkeiten der Typisierung und Vorfertigung eingegangen. Schließlich wird als weitere Möglichkeit einer wirtschaftlichen Gestaltung von Widerlagern die Verminderung der horizontalen Erddruckbelastung diskutiert, etwa durch Verringerung der Lastangriffsfläche, durch Bodenverbesserung oder durch exakte Erfassung des Erddruckes.

Die vorliegende Untersuchung wurde am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig durchgeführt und vom Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kunst aus Mitteln des niedersächsischen Zahlenlottos unter der Nummer 2091-BV4e-14/82 gefördert.

## 2. GEBRÄUCHLICHE BAUFORMEN

Für das Abschlußbauwerk eines Straßendamms bieten sich als grundsätzliche Bauformen die Winkelstützwand (Bild 3 a) und das Kastenwiderlager (Bild 3 b) an. Winkelstützwände werden jedoch aus gestalterischen Gründen kaum noch ausgeführt.

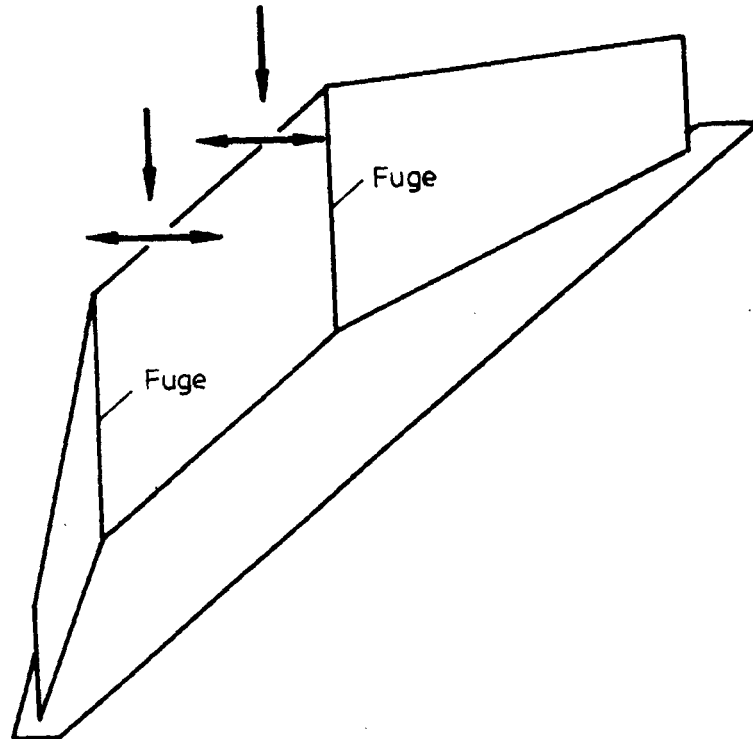


Bild 3 a: Winkelstützwand mit angeschrägten Flügelwänden

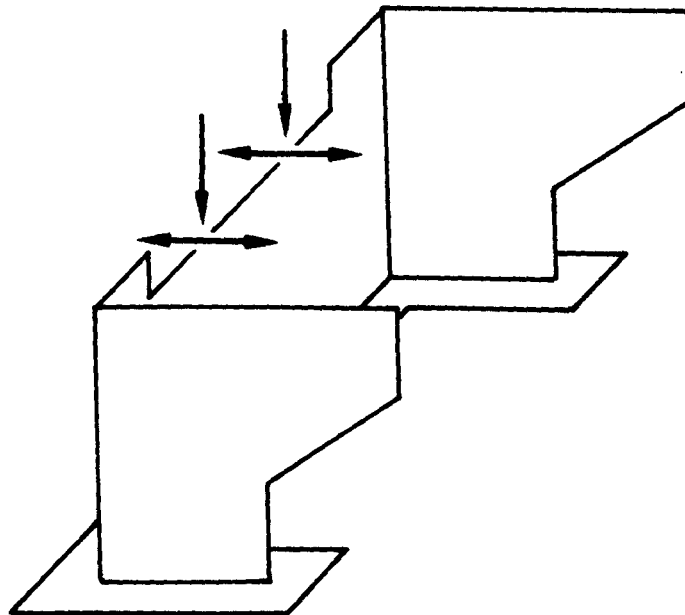


Bild 3 b: Kastenwiderlager mit gegründeten Flügelwänden

Sind bei einem Kastenwiderlager aus Stahlbeton nur kurze Flügelwände erforderlich, läßt man sie frei auskragen (Bild 4); längere Flügelwände werden gegründet (Bild 3 b). Können große Zwängungskräfte auftreten - wie z. B. bei sehr langen Flügelwänden, bei Rahmenbrücken etc. -, empfiehlt es sich, die Flügelwände durch eine Bewegungsfuge von der Widerlagerwand zu trennen (Bild 5).

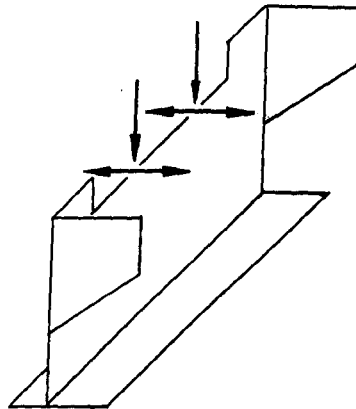


Bild 4: Kastenwiderlager mit frei auskragenden Flügelwänden

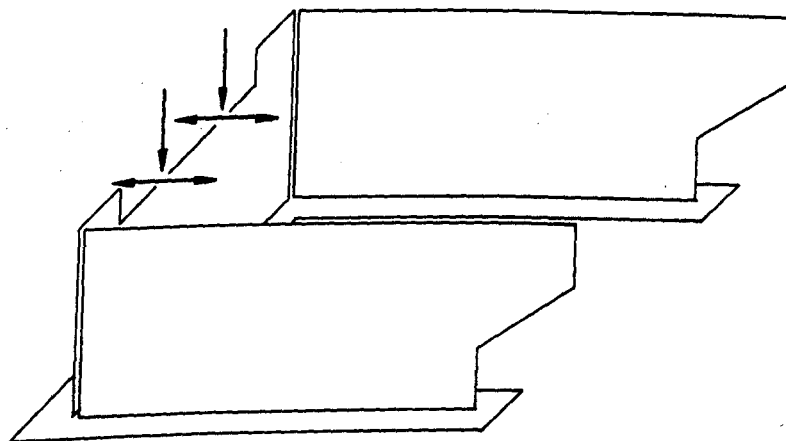


Bild 5: Kastenwiderlager mit durch Fugen von der Widerlagerwand getrennten, gegründeten Flügelwänden

Durch Aussteifungsrippen und/oder Zugbänder lassen sich Wanddicken und erforderliche Bewehrungsmengen verringern (Bild 6).

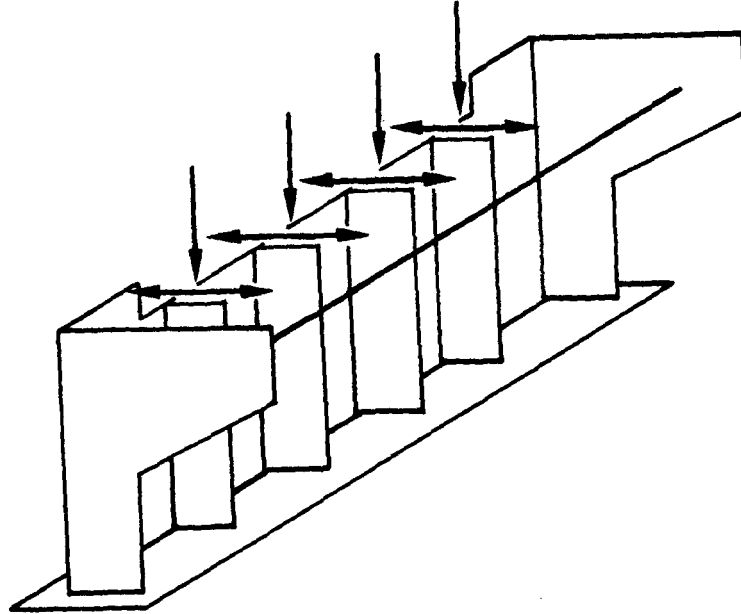


Bild 6: Kastenwiderlager mit Aussteifungsrippen und Zugband

Um die Widerlagerwand gegen Erddruck abzuschirmen, wurden früher größere Widerlager als Tornister-Widerlager gebaut. Sie werden jedoch heute nicht mehr ausgeführt, weil zum einen die Kosten der zusätzlichen Bauteile beträchtlich sind, zum anderen häufig Schäden in der Fahrbahn durch Setzungen hinter dem Widerlager auftraten (Bild 7).



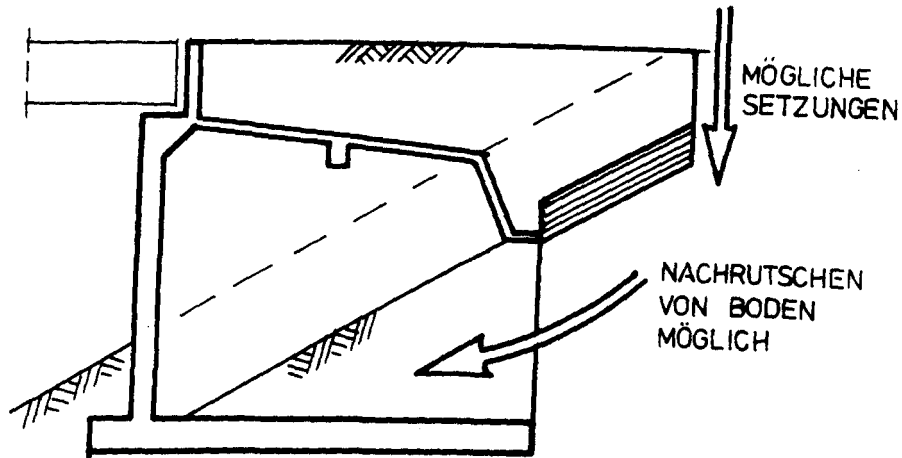


Bild 7: Tornister-Widerlager

Eine Verringerung der Horizontalbelastung aus Erddruck ergibt sich ebenfalls, wenn der Überbau verlängert und das Widerlager näher an der Dammkrone angeordnet wird. Die Lastabtragung in den Baugrund erfolgt abhängig von den örtlichen Gegebenheiten durch Flachgründung im Damm (Bild 8), auf dem gewachsenen Boden (Bilder 9 a und 9 b) oder durch eine Pfahlgründung (Bild 10).

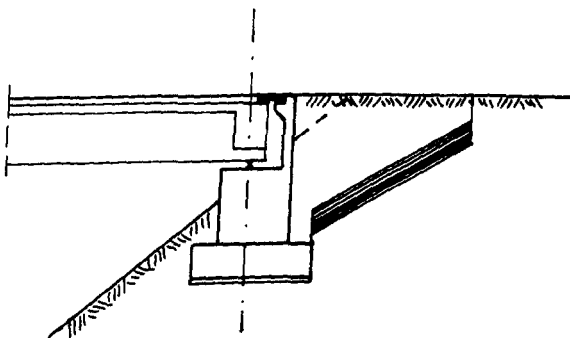


Bild 8: Flachgründung im Damm

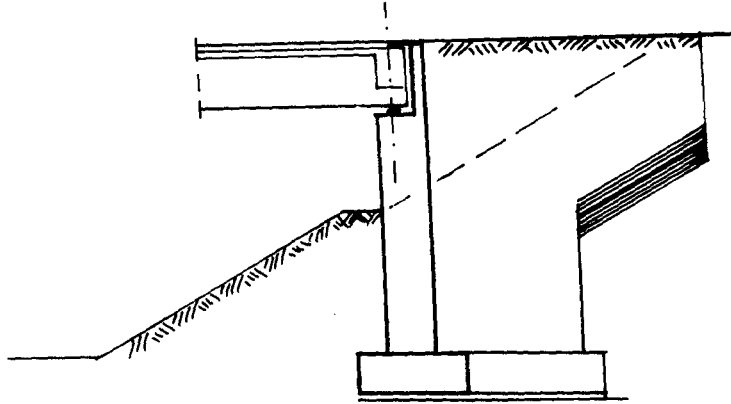


Bild 9 a: Zurückgesetztes Kastenwiderlager

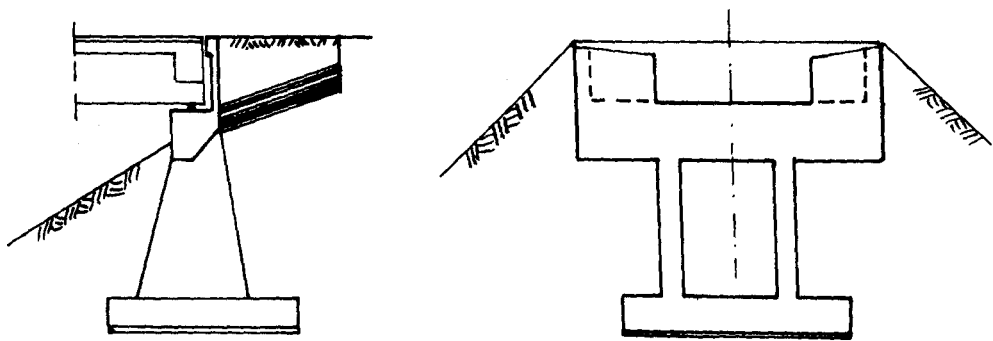


Bild 9 b: Aufgelöstes Widerlager

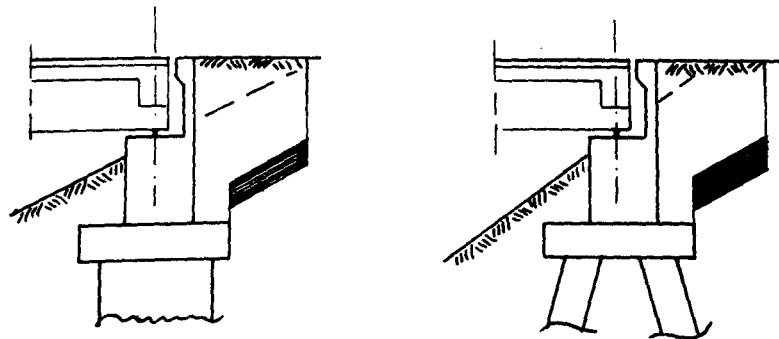


Bild 10: Pfahlgründung eines zurückversetzten Widerlagers

Das gesamte Widerlager kann aus Bohrpfählen (auch aufgelöste Bohrpfahlwände) bestehen. Dieses Verfahren hat sich besonders im Eisenbahnbrückenbau bewährt. Hier konnte die Dauer der Sperrung der betroffenen Baugleise auf ein Minimum verringert werden (Bild 11).

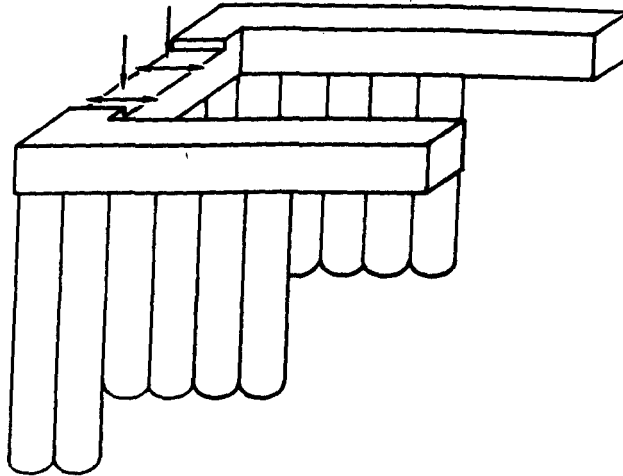


Bild 11: Widerlager- und Flügelwand aus Bohrpfählen

Auch werden Widerlager kleinerer Brücken aus Stahlspundwänden ausgeführt. Hier werden allerdings in der Regel zusätzliche Maßnahmen zur Aufnahme der Horizontalkräfte aus dem Brückenüberbau erforderlich (Bild 12).

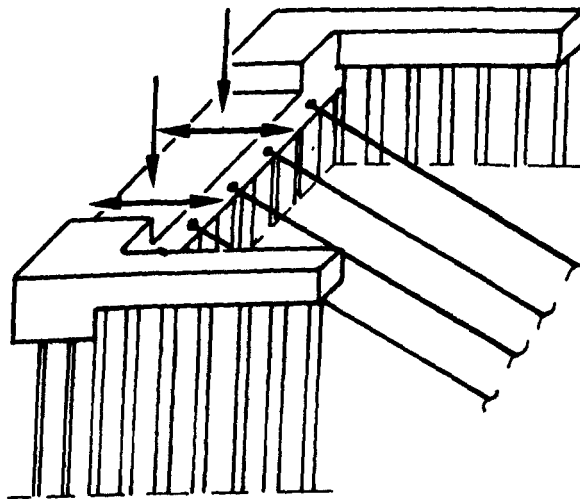


Bild 12: Widerlager- und Flügelwand aus Spundwänden

Als letztes soll die Bauweise "Bewehrte Erde" angesprochen werden. Unter dem Begriff "Bewehrte Erde" ist ein Boden mit eingelegter "Bewehrung" aus Metall- oder Kunststoffbändern zu verstehen, die in der Lage sind, Zugkräfte aufzunehmen und diese über Reibung in den Boden abzutragen. Auf diese Weise wirkt der Erdkörper selbst als Stützkonstruktion.

Im Ausland wurde dieses Bauverfahren nicht nur für einfache Stützwände, sondern auch für Brückenwiderlager schon in einer Vielzahl von Baumaßnahmen genutzt, wodurch bewiesen ist, daß diese Bauweise zum Stand der Technik gehört (Bild 13).

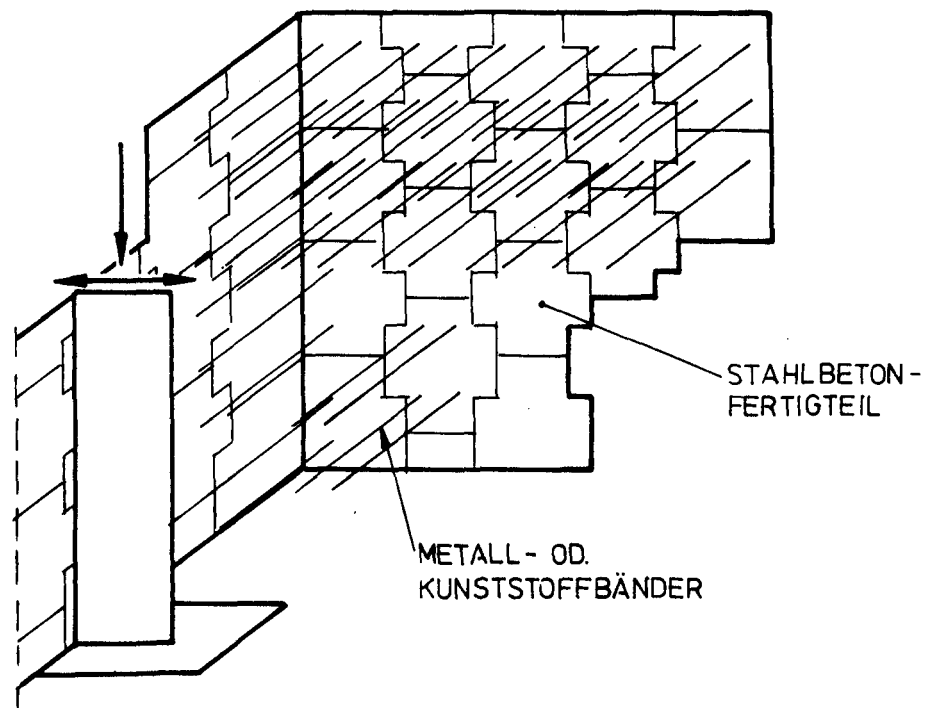


Bild 13: Widerlager aus "Bewehrter Erde"

Stichwortartig werden zum besseren Verständnis noch einige Punkte angesprochen, die bei Bemessung und Ausführung von Widerlagern zu beachten sind, die aber Fragen der Wirtschaftlichkeit nicht unmittelbar berühren:

Zur Vermeidung hydrostatischen Wasserdrucks sind die Hinterfüllungen von Widerlagern durch Sickerschichten, Kiespfähle o. ä. zu entwässern / 8 /.

Pfahlgründungen können durch Konsolidierungsvorgänge in weichen Zwischenschichten - hervorgerufen durch die Aufschüttung des Dammes - horizontal zusätzlich belastet werden.

Flügel sollen so ausgebildet sein, daß sie in jeder Richtung mindestens 1,0 m in die Dammböschung einschneiden / 8 /.

In Widerlagerwänden aus Stahlbeton ist zur Vermeidung von Schwindrissen eine Schwindbewehrung vorzusehen /10/.

Um die Bildung wilder Temperaturrisse zu vermeiden, sind (Schein-) Fugen anzuordnen und Zemente niedriger Hydratationswärme zu verwenden / 8 /.

Auf besonders sorgfältige Verdichtung der Hinterfüllung ist zu achten. Schwer zugängliche Stellen (z. B. unter dem Auflagerbalken von aufgelösten Widerlagern) sind mit Magerbeton aufzufüllen bzw. zu verfestigen /61/.

### 3. ANALYSE DES TRAGVERHALTENS VON KASTEN- WIDERLAGERN

#### 3.1 WIDERLAGERWAND

##### 3.1.1 VERTIKALLASTEN AUS DEM BRÜCKENÜBERBAU

Die vertikalen Auflagerlasten beanspruchen die Widerlagerwand in Richtung ihrer Mittelfläche (Scheibenbeanspruchung) und, falls die Lasten außerhalb der Mittelfläche angreifen, zusätzlich auf Biegung (Plattenbeanspruchung durch Versatzmoment).

#### Plattenbeanspruchung

Die einzelnen Versatzmomente  $M = V \cdot e$  (Bild 14) wird man mit Ausnahme des Lasteinleitungsbereichs näherungsweise gleichmäßig verteilt über die gesamte Breite der Widerlagerwand annehmen dürfen.

Wenn möglich, sollten die Lager so angeordnet werden, daß sie von der luftberührten Seite her

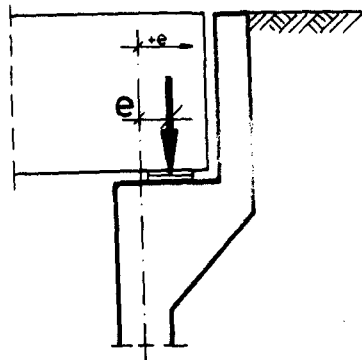
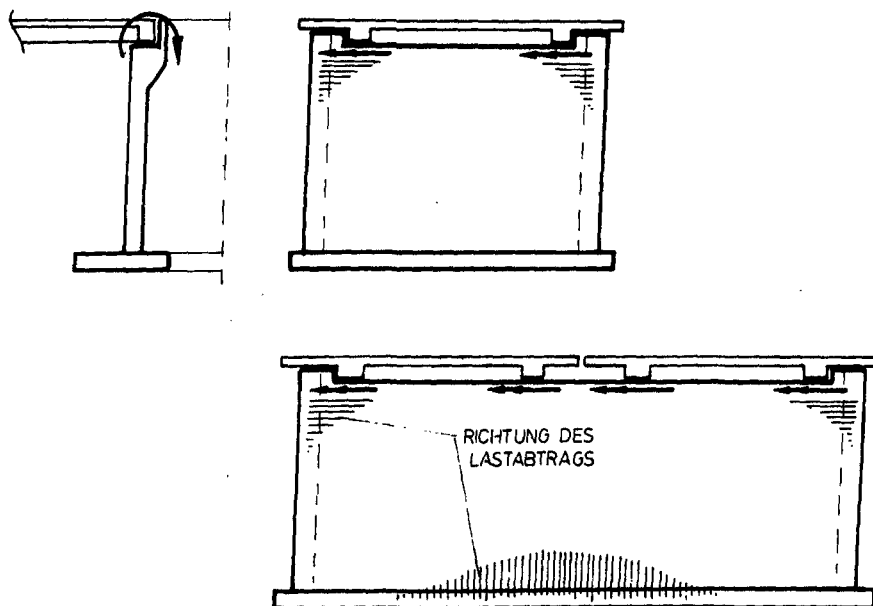


Bild 14: Vertikallasten aus Brückenüberbau

gesehen hinter der Mittelfläche der Widerlagerwand liegen (positives  $e$ ). Auf diesem Wege wird erreicht, daß die Schnittgrößen aus dem Versatzmoment denen aus Erddruck entgegenwirken.

In Widerlagerwänden mit gegründeten Flügeln und einem Seitenverhältnis Breite zur Höhe der Wand von etwa  $\epsilon \lesssim 2,0$  erfolgt die Lastabtragung ausschließlich im oberen Bereich der Wand horizontal zu den Flügelwänden hin. Bei breiteren Widerlagerwänden beteiligt sich die gesamte Widerlagerwand an der Lastabtragung. Randnahe Versatzmomente aus dem Überbau werden direkt in die gegründeten Flügelwände geleitet; das Tragverhalten im mittleren Teil der Wand nähert sich dem der unten eingespannten, frei auskragenden Platte (Bild 15).



**Bild 15:** Beanspruchung von Widerlagerwänden durch Exzentrizität der Überbaulasten (gegründete Flügel)

### Scheibenbeanspruchung

Die an der Widerlagerwand in Richtung der Mittelflächen angreifenden Lasten - oben Einzellasten aus dem Überbau, unten eine gleichmäßig verteilte Linienlast aus der Bodenpressung - erzeugen in der Wand eine Scheibentragwirkung (Bild 16). Die auftretenden Schnittgrößen sind außer von der Größe der Auflasten hauptsächlich abhängig vom Verhältnis Abstand der Lager zur Scheibenhöhe (UK Scheibe = UK Fundament), weniger von der Länge der Widerlagerwand. Der Bewehrungsanteil aus dieser Scheibentragwirkung an der Gesamtbewehrung der Widerlagerwand kann bei Überbauten mit größeren Spannweiten bis zu 15 % betragen.

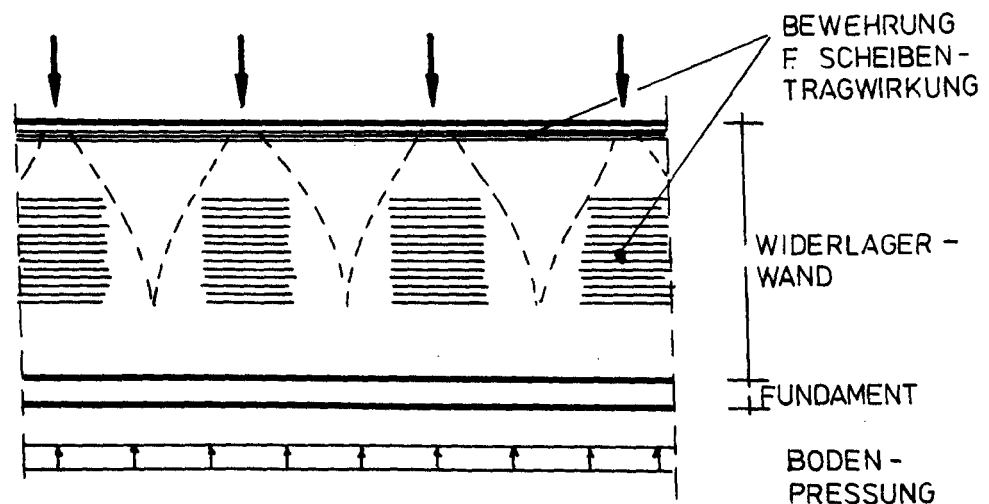


Bild 16: Scheibenbeanspruchung der Widerlagerwand

#### 3.1.2 HORIZONTALLASTEN AUS DEM BRÜCKENÜBERBAU

In Widerlagerwänden mit gegründeten Flügeln und einem Seitenverhältnis Breite zur Höhe der Wand von etwa  $\epsilon < 1,5$  werden die Horizontallasten (Bild 17) nahezu ausschließlich über horizonta-



le Biegung im oberen Teil der Widerlagerwand zu den Flügelwänden geführt und dann von diesen über Scheibentragswirkung in den Baugrund geleitet (Bild 18 A).

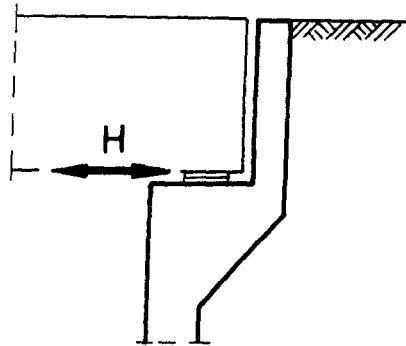
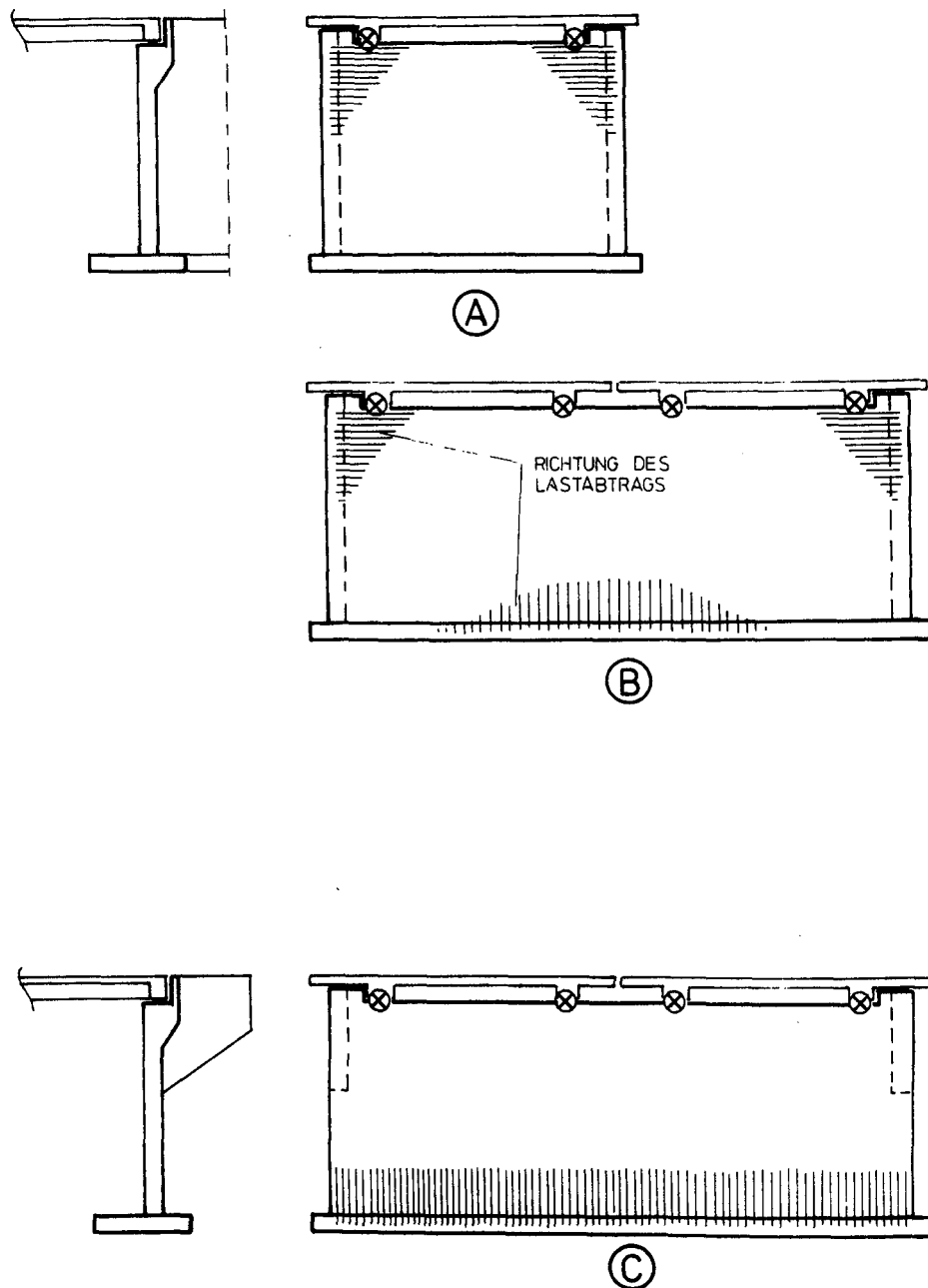


Bild 17: Horizontallasten aus Überbau

Unabhängig von der Ausbildung der Schwindfugen werden in breiten Widerlagerwänden mit gegründeten Flügeln die Horizontalkräfte, die an den Lagern in der Nähe der Flügel angreifen, hauptsächlich durch horizontale Biegung zu den Flügeln abgeleitet und jene, die weiter in der Mitte der Widerlagerwand wirken, zum größten Teil über vertikale Biegung in das Fundament übertragen (Bild 18 B).

In Widerlagern mit frei auskragenden Flügeln werden die auf die Widerlagerwand einwirkenden Horizontallasten ausschließlich über Biegung ins Fundament geführt. Lediglich in den Bereichen der Lastangriffspunkte entstehen auch örtliche horizontale Biegebeanspruchungen (Bild 18 C).

Die Kräfte, die in Richtung auf das Erdreich wirken, werden zum Teil direkt vom Erdreich aufgenommen (elastische Bettung).



- A: schmale Widerlagerwand  
Breite/Höhe  $\epsilon < 1,5$
- B: breite Widerlagerwand  
Breite/Höhe  $\epsilon > 1,5$
- C: Widerlagerwand mit frei  
auskragenden Flügeln

Bild 18: Beanspruchungen von Widerlagerwänden  
durch Horizontallasten aus dem  
Brückenüberbau

### 3.1.3 HORIZONTALLASTEN AUS DER HINTERFÜLLUNG

Gegründete Flügel bilden ein horizontales Auflager für die Widerlagerwand. Waagrecht wirkende Flächenlasten (Erddruck - Bild 19) werden also zum Teil unmittelbar über Biegung in das Fundament, zum Teil mittelbar über waagerechte Biegung und Scheibentragwirkung der Flügel in den Baugrund geleitet.

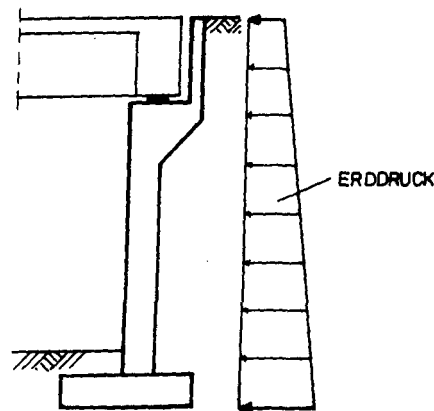


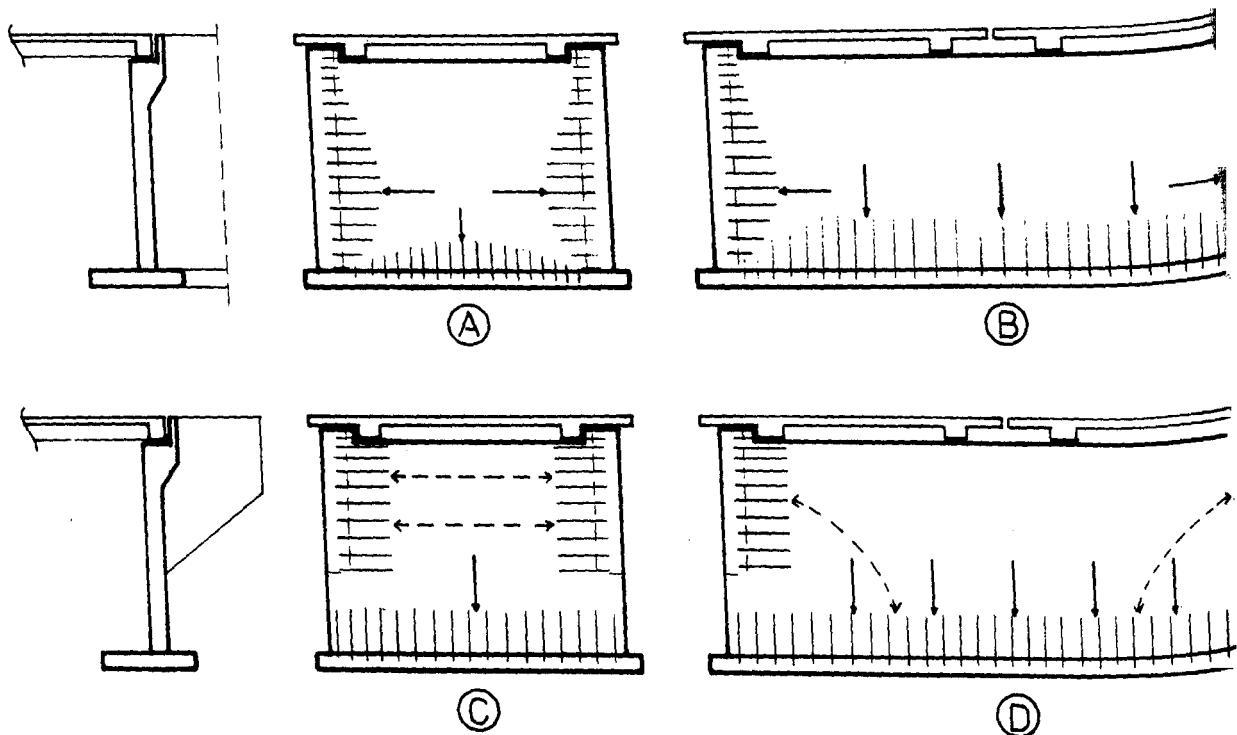
Bild 19: Horizontallasten aus der Hinterfüllung

Schmale Widerlagerwände tragen hauptsächlich in horizontaler Richtung (Bild 20 A); mit zunehmender Breite nähert sich das Tragverhalten im Mittelteil der Wand dem der einseitig eingespannten Platte (Kragarm), d.h., sie trägt hauptsächlich in senkrechter Richtung (Bild 20 B).

Die Anordnung vertikaler Schwindfugen in der Widerlagerwand schwächt die horizontale Tragwirkung, was dazu führt, daß ein größerer Lastanteil nach unten ins Fundament geführt wird.

Bei einer Widerlagerwand mit frei auskragenden Flügeln entfällt die Stützung durch die gegründeten Flügel; sie trägt daher die Lasten als

Winkelstützmauer ab. Die Biegemomente, die die Flügel in die Widerlagerwand einleiten, werden auf einer Länge von etwa der 1,5fachen Höhe der Widerlagerwand abgebaut. In schmalen Widerlagern wird also die gesamte Widerlagerwand durch Schnittgrößen in beide Richtungen beansprucht (Bild 20 C), während langgestreckte Widerlagerwände durch die Flügel in ihrem Mittelbereich nicht beansprucht werden (Bild 20 D).



- A: schmale Widerlagerwand
- B: breite Widerlagerwand
- C: schmale Widerlagerwand mit frei auskragenden Flügeln
- D: breite Widerlagerwand mit frei auskragenden Flügeln

**Bild 20:** Beanspruchung von Widerlagerwänden durch Horizontallasten aus der Hinterfüllung

### 3.2 FLÜGELWÄNDE

Flügelwände werden durch Erddruck aus der Hinterfüllung, aus den Verkehrslasten sowie durch Seitenstöße der Fahrzeugräder belastet.

Frei auskragende Flügel führen diese Horizontallasten nur durch waagerechte Biegung zur Widerlagerwand (Bild 21 A), während gegründete Flügelwände mit zunehmender Länge stärker über senkrechte Biegung tragen (Bild 21 B), so daß weiter von der Widerlagerwand entfernte Bereiche der Flügel ( $\epsilon > 1,5$ ) ihre Lasten nahezu ausschließlich über senkrechte Biegung ins Fundament abgeben.

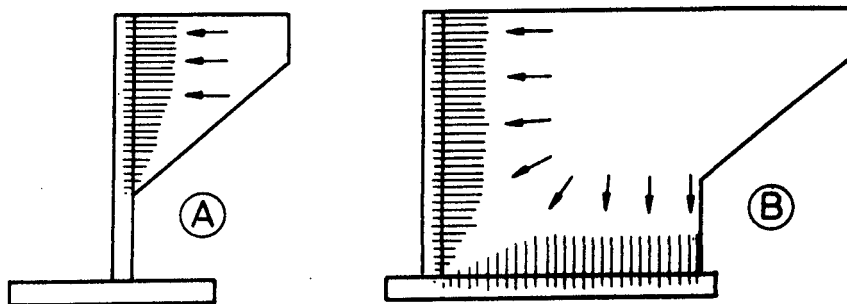


Bild 21: Beanspruchung von Flügelwänden

Sind gegründete Flügel durch eine Fuge entsprechend Bild 22 von der Widerlagerwand getrennt, vergrößert sich der Lastanteil, der über senkrechte Biegung direkt ins Fundament geführt wird. Sieht man von dem Versatzmoment, das sich durch die Auflagerung der Flügelwände ergibt, ab, wird die Widerlagerwand durch die Flügel

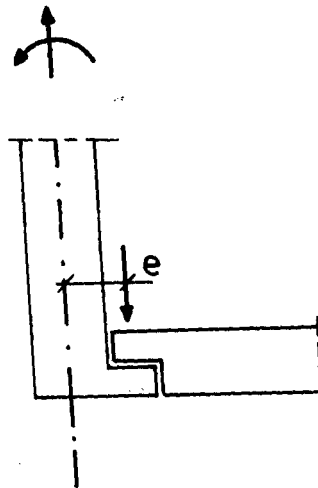


Bild 22: Fuge in Konsolenform (Grundriß)

hier nur noch durch Zugkräfte beansprucht (Scheibenwirkung). Entfällt die Konsole (glatte Fuge), werden naturgemäß keine Kräfte mehr in die Widerlagerwand übertragen, und die Flügel tragen ausschließlich in senkrechter Richtung durch Einspannung im Fundament.

Eine Besonderheit in der Belastung der Flügel liegt darin, daß die Erddrücke aus Bodeneigen- gewicht für beide Flügelwände i.d.R. gleich groß sind. Durch gegenseitige Abspannungen - Zugbänder - lassen sich für Flügelwände daher zusätzliche Auflager schaffen und sich damit die Verformungen und Biegebeanspruchung deutlich verringern (Bild 23).

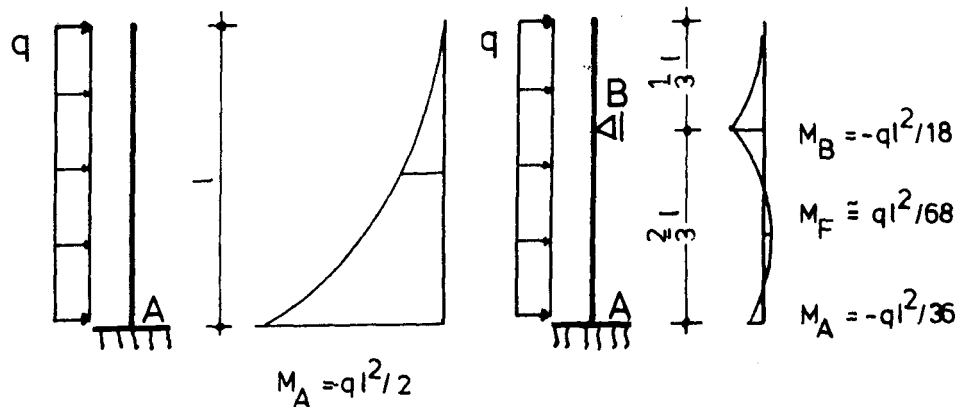


Bild 23: Einfluß einer zusätzlichen Stützung auf die Biegemomente eines stabförmigen Kragarms

Die statische Berechnung der Flügelwände bereitet für diesen Lastfall keine größeren Schwierigkeiten, verwickelter gestalten sich jedoch die Zusammenhänge für den Lastfall "SLW steht ausmittig auf der Hinterfüllung" (Bild 24).

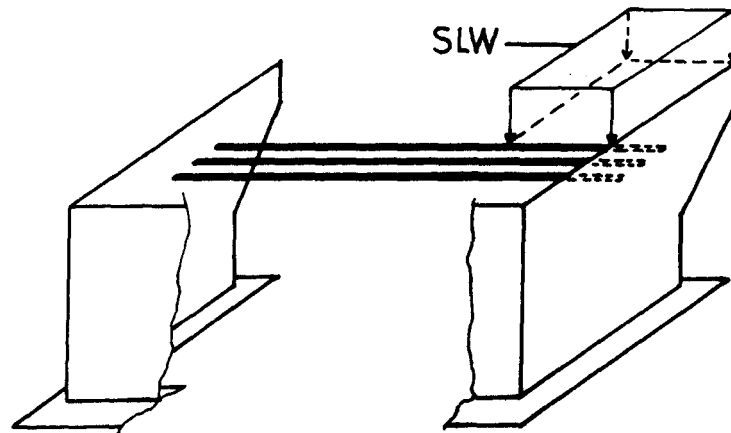


Bild 24: Kastenwiderlager mit Zuggliedern

Anhand einer vereinfachten Darstellung des stat. Systems lässt sich das Tragverhalten eines solchen Widerlagers erläutern (Bild 25):

Der Horizontallast wirkt zum einen die Biegesteifigkeit des direkt belasteten Flügels, zum andern die elastische Bettung und Biegesteifigkeit des verankernden Flügels entgegen. Wie groß die Biegebeanspruchungen in beiden Flügeln werden, hängt stark von Länge und Lagerungsart der Flügel sowie vom Verhältnis Biegesteifigkeit zur Bettungssteifigkeit ( $\rightarrow$  elastische Länge) ab.

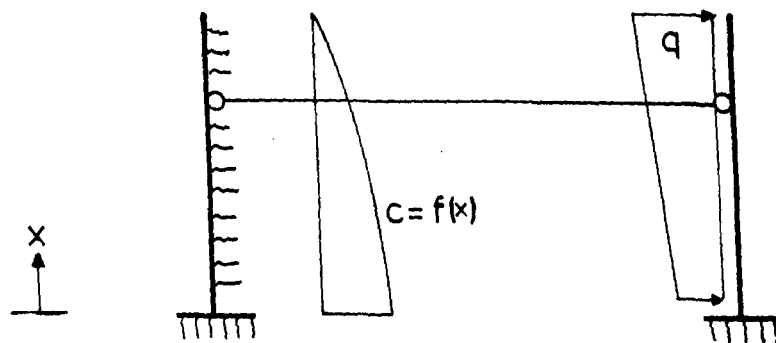


Bild 25: Vereinfachte Darstellung des Systems mit Belastung

Schwierigkeiten bei der Bemessung macht hier die Bestimmung der Schnittgrößen der verankernden Flügelwand, deren statisches System als "ein- oder zweiseitig unverschieblich eingespannte, auf elastischen Federn unterschiedlicher Stärke gebettete, durch eine Einzellast belastete Platte" zu beschreiben wäre (Bild 26).



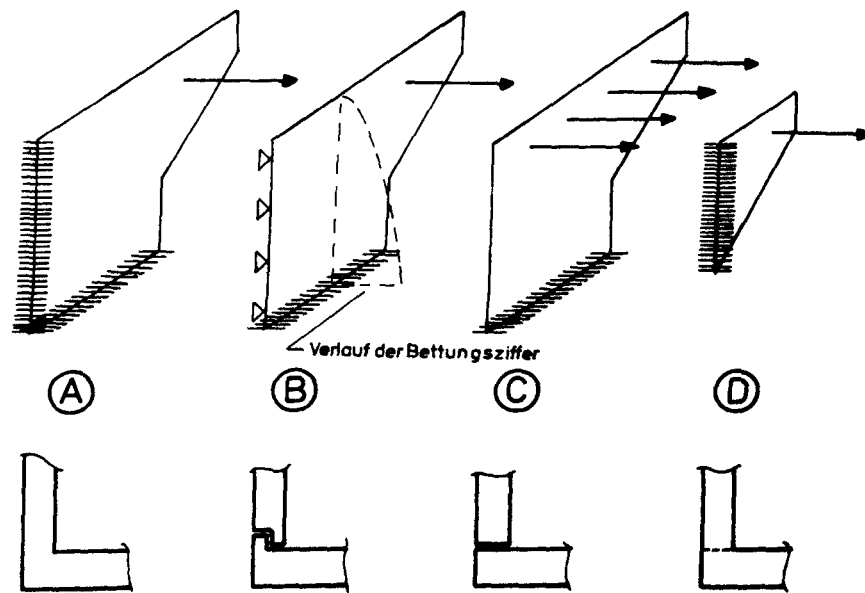


Bild 26: Verschiedene statische Systeme von verankernden Flügelwänden

Für die Ermittlung der Zustandsgrößen derart gelagerter Platten existieren z. Z. keine Rechenhilfsmittel (mit Ausnahme von System C, bei Annahme einachsiger Lastabtragung); sie sollten im Rahmen eines anderen Forschungsvorhabens erarbeitet werden. Dort wären auch Fragen über Größe und Verlauf der Bettungsziffern zu klären.

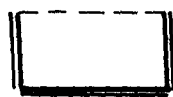
Ohne diese Hilfsmittel können Flügel von Widerlagern mit Zugbändern nur mit Näherungen stark zur sicheren Seite hin - sprich verhältnismäßig unwirtschaftlich - bemessen werden.

#### 4. WIRTSCHAFTLICHE AUSBILDUNG VON KASTENWIDERLAGERN

Wie schon in Abschn. 2 erläutert, sind bei Kastenwiderlagern verschiedene Ausführungsformen für die Widerlagerwand gebräuchlich:

In langen Widerlagerwänden werden (Schein-) Fugen angeordnet, um der Bildung wilder Temperaturrisse entgegenzuwirken. Diese Fugen können konstruktiv so ausgebildet werden, daß sie als volle Trennung (Raumfuge), als Gelenk (z. B. FUG 21 in /8/) oder biegesteif (FUG 23) wirken. Der Abstand dieser Fugen wird ausgehend von /73/in /8/, FUG 20, geregelt.

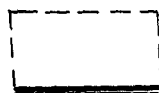
Für die Widerlagerwand können sich also folgende Lagerungsbedingungen für die Abtragung der Horizontallasten ergeben:



- dreiseitig eingespannt  
Kastenwiderlager mit eingespannten, gegründeten Flügeln (Ansicht)



- zweiseitig eingespannt  
Kastenwiderlager mit eingespannten, gegründeten Flügeln und einer Fuge (gegen Temperaturrisse) in der Widerlagerwand (Ansicht)



- einseitig eingespannt  
Kastenwiderlager mit von der Widerlagerwand getrennten Flügeln oder frei auskragenden Flügeln (Ansicht)



- unten eingespannt, seitlich gelenkig aufgelagert

Kastenwiderlager mit von der Widerlagerwand getrennten Flügeln, Fugenkonstruktion jedoch so, daß sich die Widerlagerwand gegen die Flügelwände abstützen kann (Ansicht)

Es werden hier Widerlagerwände mit diesen Lagerungsbedingungen mit Ausnahme der beidseitig gelenkigen Lagerung in bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit für verschiedene Seitenverhältnisse miteinander verglichen. Die beidseits gelenkige Lagerung ergibt Werte, die zwischen der dreiseitig und der einseitig eingespannten Platte liegen, sich also gut abschätzen lassen. Eine ausführlichere Untersuchung erfolgt daher nicht.

Die durch Vertikallasten aus dem Überbau verursachten Scheibenbeanspruchungen werden vorerst nicht betrachtet, weil sie für alle drei Systeme in der gleichen Größenordnung liegen.

Die folgenden Überlegungen sollen Tendenzen aufzeigen. Für jeden Einzelfall exakt zutreffende Ergebnisse können ob der Vereinfachungen, die getroffen wurden, um den Rechenaufwand in Grenzen zu halten, nicht erwartet werden.

Rechenannahmen:

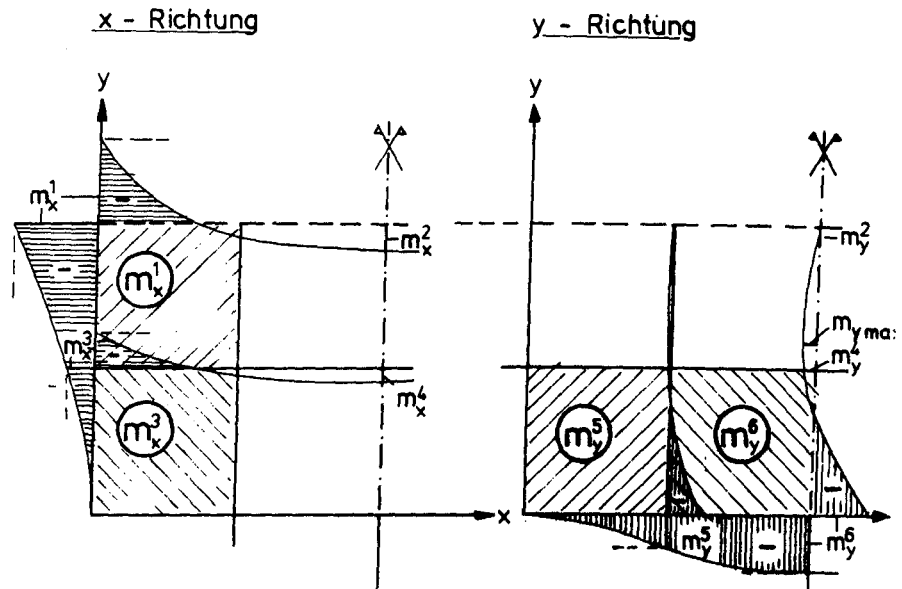
1. Alle Einspannungen werden als "voll" vorausgesetzt.
2. Für die einzelnen Bereiche der Biegebewehrung wurde, der Bewehrungspraxis folgend, jeweils das dort auftretende maximale Moment

der Bemessung zugrunde gelegt (vgl. Abschn. 4.1). Die Bereiche mit Mindestbewehrung wurden abgeschätzt.

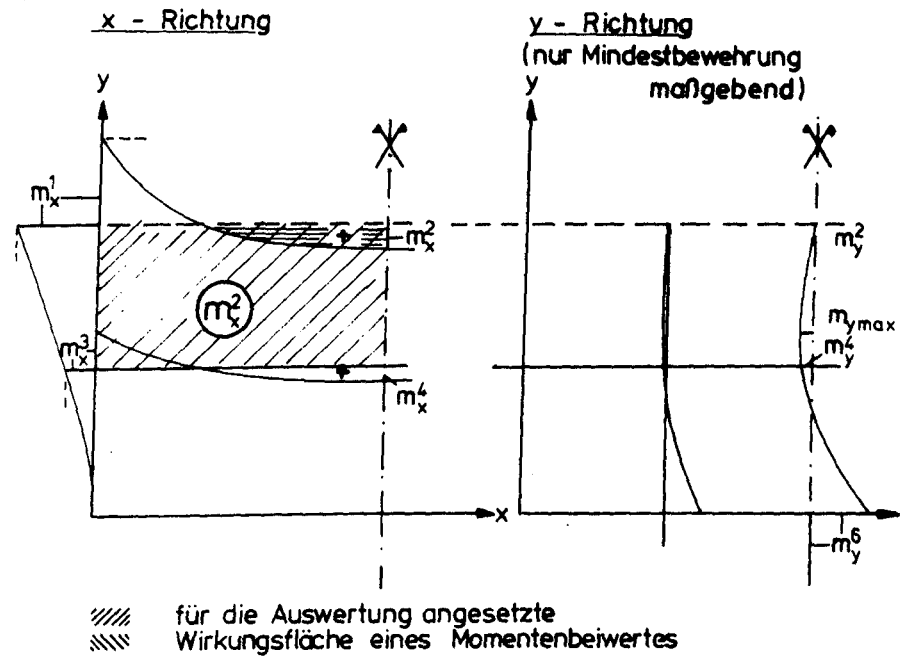
#### 4.1 GEMITTELTE MOMENTENBEIWERTE

Üblicherweise werden Kastenwiderlager nach /20/ bemessen. Da hier jedoch mehrere Widerlagerwände nur überschlägig bemessen werden sollen - letztendlich interessiert nur der Gesamtbewehrungsbedarf -, werden die benötigten Momentenbeiwerte zu einem einzigen Wert zusammengefaßt; sie werden unter Berücksichtigung der Bereiche, in denen sie wirken, gewichtet. Zu beachten ist jedoch, daß nur Momente berücksichtigt werden, die dort wirken, wo nicht Mindestbewehrung maßgebend wird. Mit Bild 27 wird das Vorgehen anhand eines Falles (/20/ Tafel 1,  $\epsilon = 4$ ) erläutert. Entsprechend werden die Tafeln für zwei- und dreiseitig eingespannte Platten für Gleich-, Dreiecks- und Randlinienlasten ausgewertet und die Werte für einseitig eingespannte Platten ermittelt (Bilder 28 - 30).

### Erdberührte Seite (-)



### Erdabgewandte Seite (+)



**Bild 27:** Maßgebende Momentenbeiwerte und ihre Wirkungsflächen

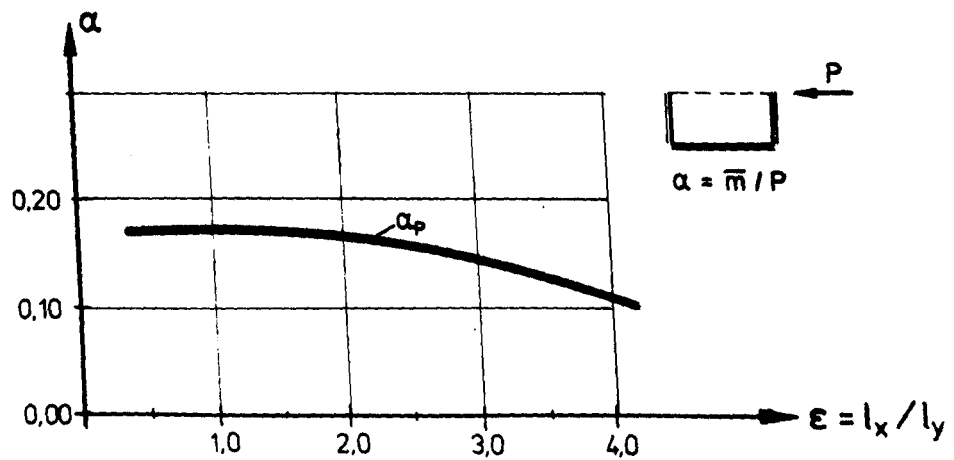
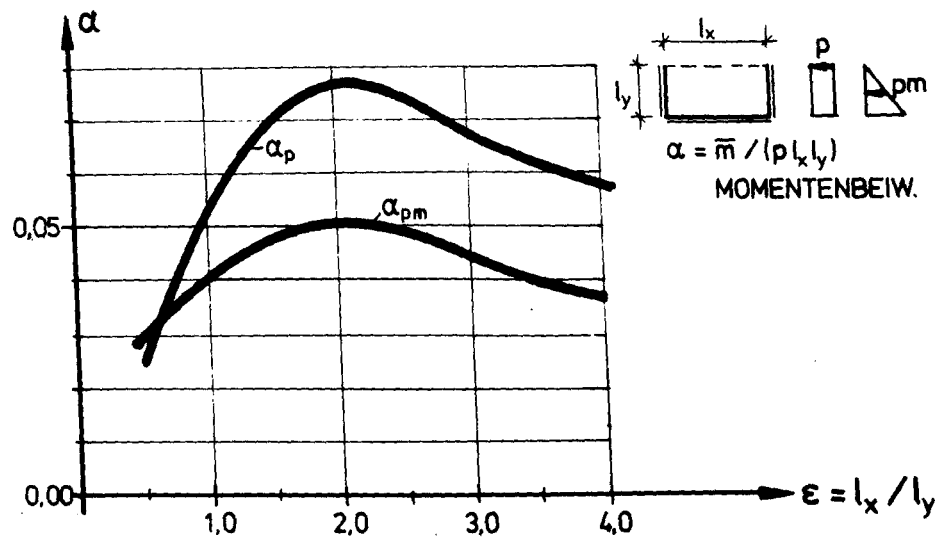


Bild 28: Dreiseitig eingespannte Platte

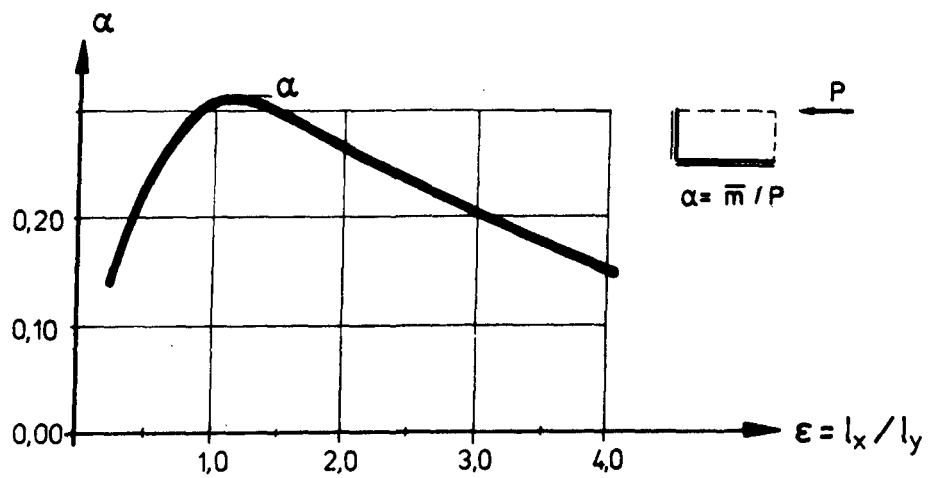
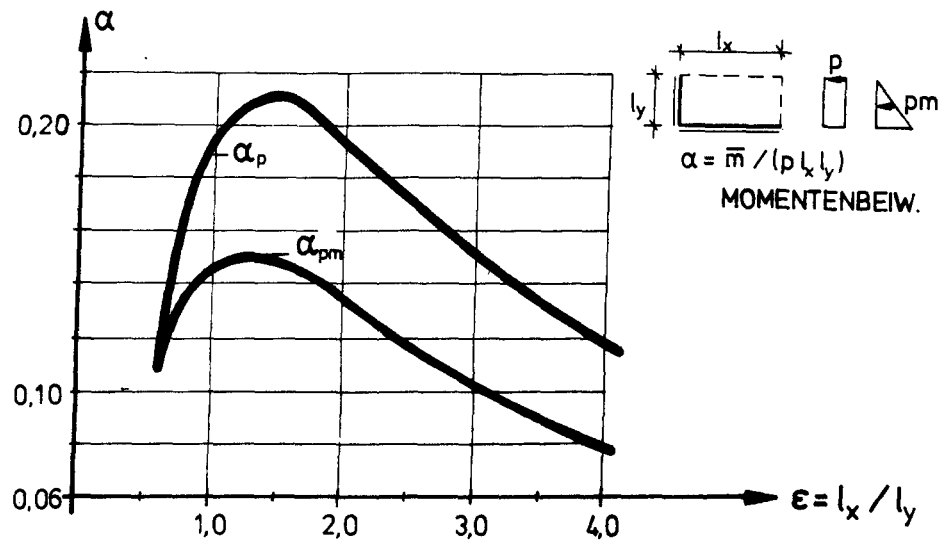


Bild 29: Zweiseitig eingespannte Platte

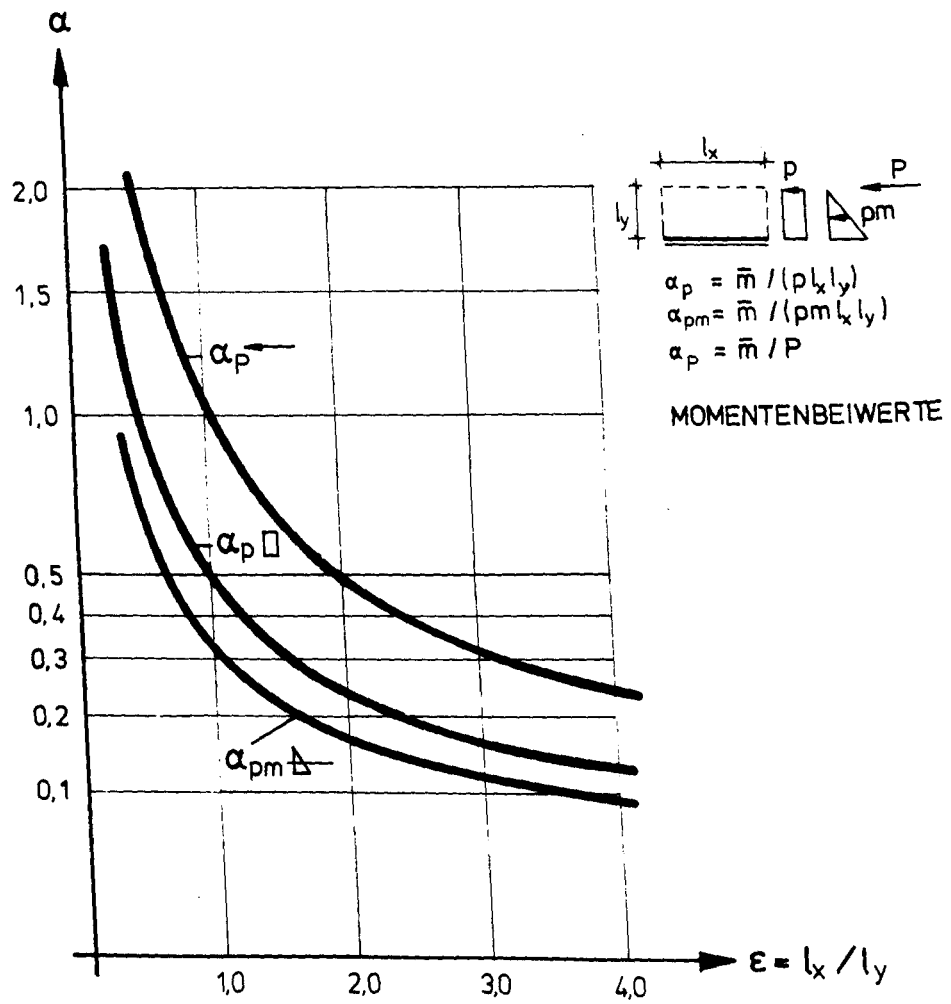


Bild 30: Einseitig eingespannte Platte

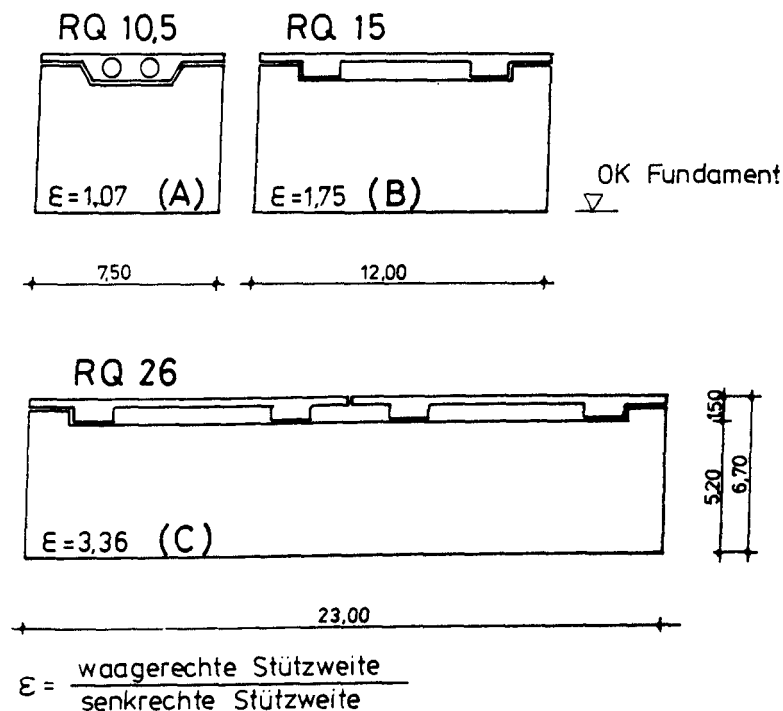


#### 4.2 ERMITTLUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN WANDSTÄRKE

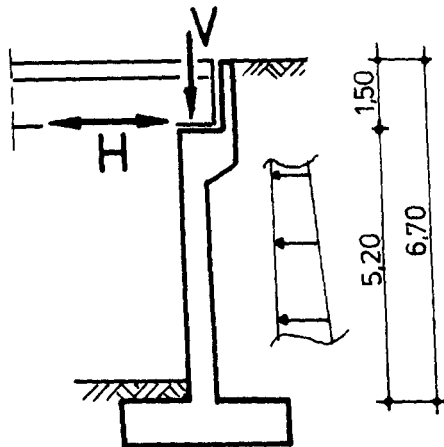
Mit zunehmender Wandstärke

- wächst der Betonbedarf,
- vergrößert sich die Mindestbewehrung und
- verringert sich die statisch erforderliche Bewehrung.

Bei einer bestimmten Wanddicke stellt sich ein Minimum an Gesamtkosten für die Widerlagerwand ein. Diese Frage soll im folgenden an den drei Grundsystemen (ein-, zwei-, dreiseitig eingespannt) für verschiedene Breiten (Bild 31) bei gleicher Höhe und somit gleicher Belastung der Widerlagerwand (Bild 32) untersucht werden.



**Bild 31:** Skizzenhafte Ansichten der Widerlagerwände



$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$k_o = 0,5$$

$$H = 300 \text{ kN}$$

SLW 60 auf der  
Hinterfüllung

Bild 32: Querschnitt, Angaben zur Belastung

Die Mindestbewehrung wird in Anlehnung an /10/  
näherungsweise wie folgt ermittelt:

- senkrechte Mindestbewehrung

$$a_{s\perp} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m} > 0,06 \text{ \%}; \quad 3,9 \text{ cm}^2/\text{m} \hat{=} \emptyset 10/20$$

- Waagerechte Mindestbewehrung in der oberen  
Hälfte der Widerlagerwand

$$b \leq 50 \text{ cm}; \quad a_{s\parallel} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad 3,9 \text{ cm}^2/\text{m} \hat{=} \emptyset 10/20$$

$$b > 50 \text{ cm}; \quad a_{s\parallel} = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m}; \quad 3,9 \text{ cm}^2/\text{m} \hat{=} \emptyset 10/20 \\ > 0,06 \text{ \%}$$

- waagerechte Mindestbewehrung in der unteren  
Hälfte der Widerlagerwand (Bereiche  $h_1$  und  $h_2$   
gem. /10/, 6.3.4.2.2 gemittelt)

$$b \leq 50 \text{ cm}; \quad a_{s\parallel} = 6,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

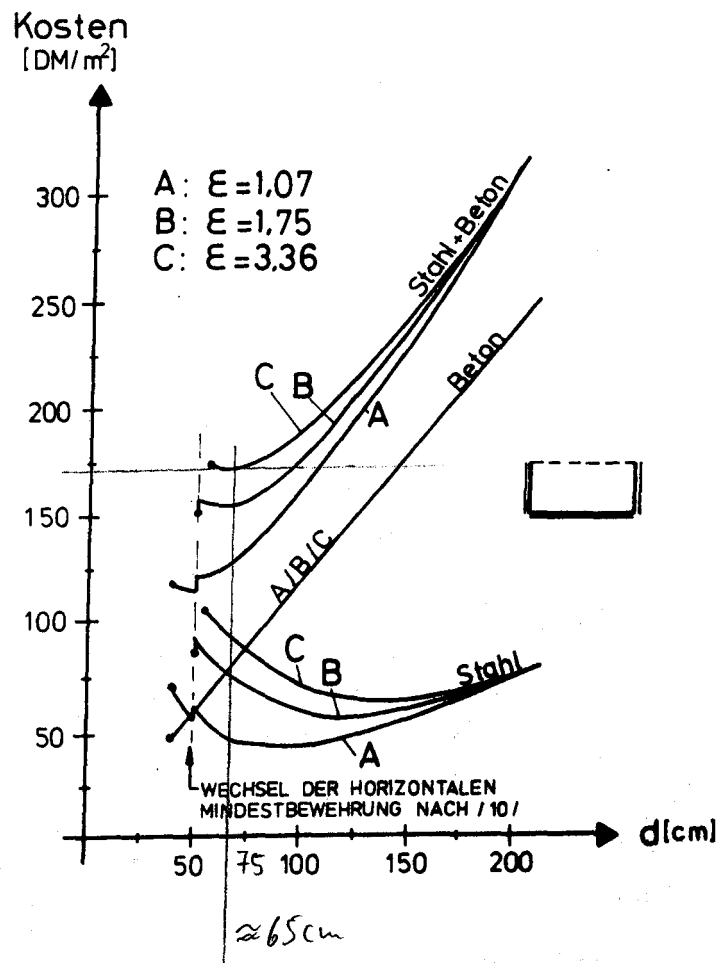
$$b \geq 50 \text{ cm}; \quad a_{s\parallel} = 10,5 \text{ cm}^2/\text{m} \\ > 0,06 \text{ \%}$$

Als Kosten für Bewehrungsstahl und Beton wer-  
den angesetzt:

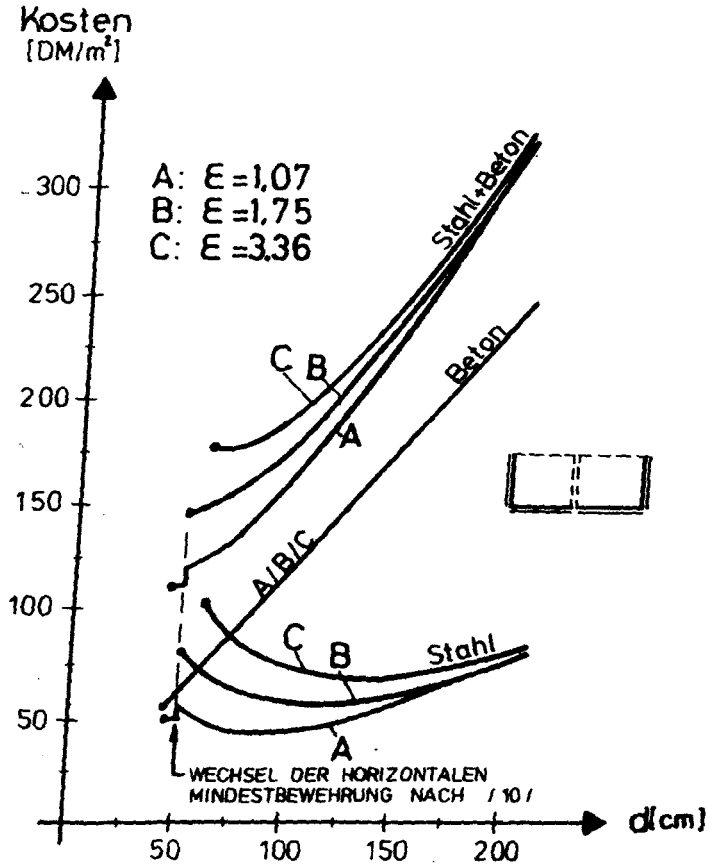
Bewehrungsstahl  $\sim 2,00 \text{ DM/kg}$  - eingebaut

Beton  $\sim 120 \text{ DM/m}^3$  - eingebaut

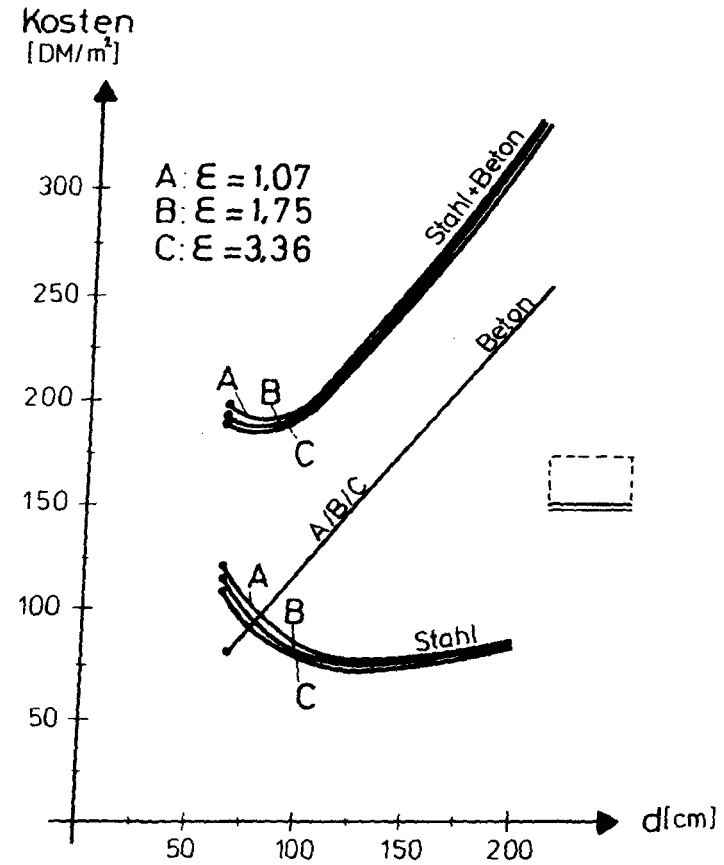
Die wirtschaftliche Dicke der Widerlagerwand ist verhältnismäßig unempfindlich gegen Schwankungen im Stahl- und Betonpreis; zudem geht nur das Verhältnis der beiden ein. Es kommt hier also nicht darauf an, die Preise so genau wie bei einer Kalkulation zu erfassen. Die Kosten für Schalung und sonstiges gehen nicht ein, weil sie von der Wanddicke unabhängig sind. Die Ergebnisse der Vergleichsrechnung sind in den Bildern 33 - 35 dargestellt.



**Bild 33:** Stahl- und Betonkosten der dreiseitig eingespannten Widerlagerwand



**Bild 34:** Stahl- und Betonkosten der zweiseitig eingespannten Widerlagerwand



**Bild 35:** Stahl- und Betonkosten der einseitig eingespannten Widerlagerwand

Man erkennt:

- Die Kosten sind bis zu einer Wandstärke von etwa dem 1,3fachen der Mindestwandstärke (bestimmt fürs Größtmoment) kaum veränderlich.
- Bei einer Wandstärke von 50 cm macht die Kostenkurve einen Sprung von etwa  $5 - 7 \text{ DM/m}^2$ , weil die horizontale Mindestbewehrung (gegen Schwind- und Temperaturrisse) entsprechend /10/ vergrößert wird.

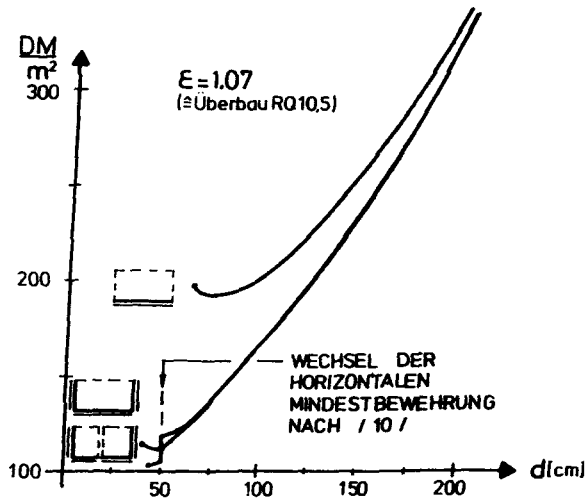
Es können daher folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Die Wandstärke sollte so gewählt werden, daß der kleinste  $k_h$ -Wert sich zwischen 1,6 und 2,0 befindet.
- Wenn Mindestbewehrung nach /10/ anzuordnen ist, sollte die Wandstärke  $\leq 50 \text{ cm}$  gewählt werden.

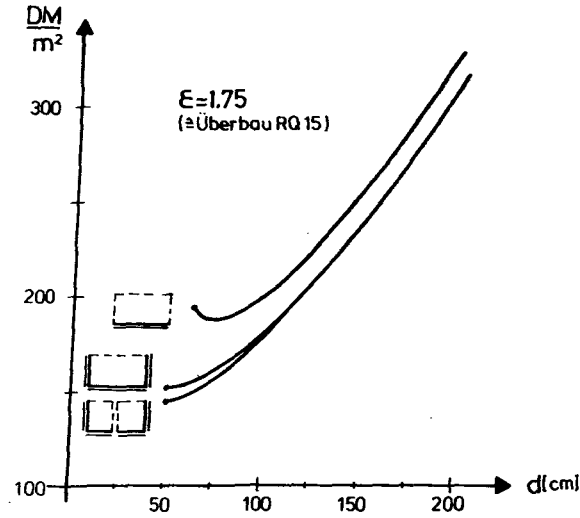
#### 4.3 VERGLEICH VERSCHIEDEN GELAGERTER WIDERLAGERWÄNDE

In den Bildern 36 - 38 werden die Kosten jeweils einer bestimmten Widerlagerwand für die drei verschiedenen Lagerungsarten einander gegenübergestellt.

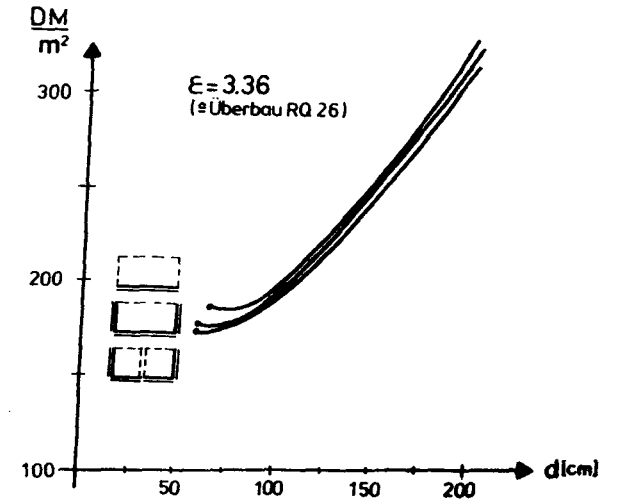
Man erkennt, daß sich die Kosten für zwei- und dreiseitig gelagerte Widerlagerwände kaum unterscheiden. Diese Abweichungen bewegen sich in einer Größenordnung, daß sie auch von den Vereinfachungen, die zu ihrer Berechnung gemacht wurden, herrühren könnten. Eigentlich war anzu-



**Bild 36:** Kosten für Stahl und Beton bei schmalen Widerlagern

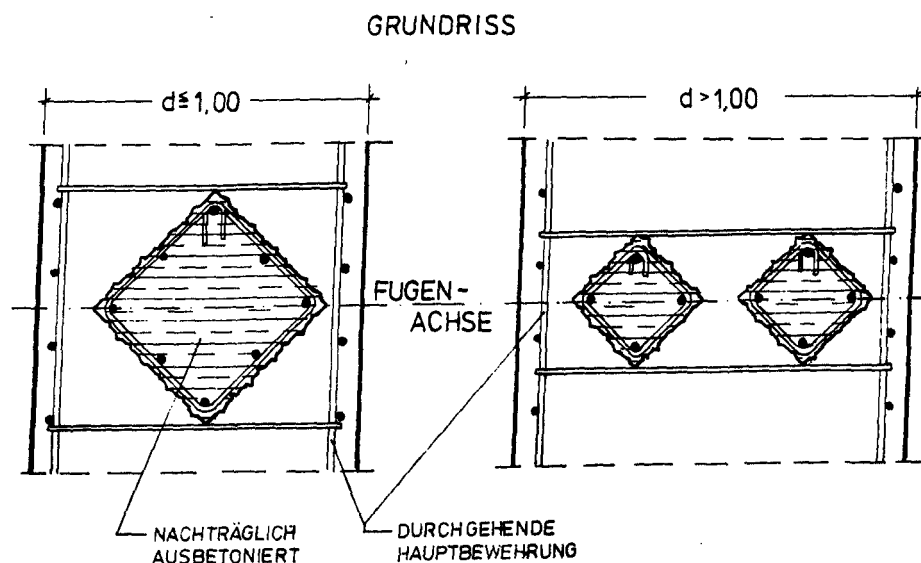


**Bild 37:** Kosten für Stahl und Beton bei mittelbreiten Widerlagern



**Bild 38:** Kosten für Stahl und Beton bei breiten Widerlagern

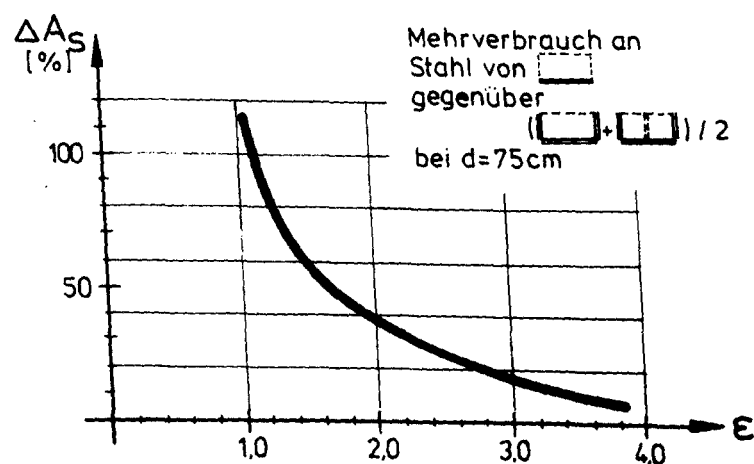
nehmen, daß die zweiseitig gelagerte Platte einen größeren Stahlbedarf hat als die dreiseitig gelagerte (eine weggenommene Bindung → größere Durchbiegung → größere äußere Arbeit → größere innere Arbeit → mehr Bewehrung). Die Tatsache, daß jedoch im Stahlbetonbau die Bewehrung nicht genau dem Momentenverlauf angepaßt wird (Staffelung, Versatzmaß, Verankerungslängen - in den Ansätzen für die gemittelten Momentenbeiwerte berücksichtigt), bewirkt, daß sich dennoch ein fast gleicher Stahlbedarf einstellt. Wenn wegen der Länge der Widerlagerwand eine Fuge angeordnet werden muß, um Schwind- und Temperaturrisse zu vermeiden, lohnt es aus der Sicht des Stahlverbrauchs also nicht, den erhöhten Aufwand für eine biegesteife Fuge (Bild 39) zu treiben; eine Bewehrungsersparnis ist damit nicht zu erreichen. Auch läßt sich das in der Widerlagerwand auftretende Maximalmoment - wenn überhaupt - nur geringfügig verringern.



**Bild 39:** Biegesteife Fuge  
(entsprechend Richtzeichnung FUG 23)

Des weiteren ist zu ersehen, daß sich Kosten und somit auch Stahlverbrauch der einseitig unten eingespannten Widerlagerwand mit zunehmender Breite (größeres  $\epsilon$ ) denen für die zwei- oder dreiseitig eingespannte Wand annähern. Dies war auch zu erwarten, denn schmale, dreiseitig gelagerte Wände tragen ihre Lasten hauptsächlich in waagerechter Richtung ( $\sim q l_H^2/12$ ) und sind so deutlich geringer beansprucht als die einseitig eingespannte Wand ( $\sim q l_V^2/2$ ).

Die Bewehrungsführung der einseitig eingespannten Wand ist im Vergleich zur dreiseitig eingespannten Wand einfacher - es entfallen die horizontalen Rahmenecken. Es ist daher von Interesse, von welcher Länge einer Widerlagerwand an ein- und dreiseitig eingespannte Wände einen ähnlichen Stahlbedarf zeigen. Man erkennt in Bild 40, daß von einem Seitenverhältnis (Breite zu Höhe) von etwa  $\epsilon = 3$  an der Stahlmehrbedarf der einseitig eingespannten Platte unter 10 % liegt.



**Bild 40:** Stahlmehrverbrauch der einseitig, unten eingespannten Widerlagerwand gegenüber der dreiseitig eingespannten Wand



#### 4.4 BETRACHTUNGEN AM GESAMTSYSTEM WIDERLAGERWAND - FLÜGELWAND

Die Belastung der Flügelwände unterscheidet sich von jener der Widerlagerwand durch die Lasten aus dem Überbau. Da die H-Lasten aus dem Überbau nur einen geringeren Anteil am Gesamtstahlbedarf hervorrufen, dürfen die für die Widerlagerwand gefundenen Ergebnisse ohne weiteres auf Flügelwände übertragen werden; es können daher zusammenfassend für die Ausbildung herkömmlicher Kastenwiderlager folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Lange Widerlagerwände (Breite : Höhe  $\epsilon \gtrsim 3$ ) und lange Flügel ( $\epsilon \gtrsim 1,5$ ) durch eine Fuge trennen (annähernd gleicher Stahlbedarf, einfachere Bewehrungsführung).
- Lange Widerlagerwände ( $\epsilon \gtrsim 3$ ) und Flügel mit einem Seitenverhältnis von etwa  $\epsilon \lesssim 1,5$  biegesteif verbinden (horizontale Einspannung verringert Beanspruchung im Flügel).

Anm.: Eine Gründung des Flügels erscheint nur dann sinnvoll, wenn ein deutlicher Teil der Erddruckbelastung des Flügels ins Fundament abgeleitet werden kann. Dies ist von einem Seitenverhältnis von etwa  $\epsilon = 0,4$  an der Fall (vgl. Tafeln 10, 11 in /20/).

- Schmalere Widerlagerwände ( $\varepsilon \lesssim 2$ ) möglichst biegesteif an die Flügelwände anschließen (horizontale Einspannung verringert Beanspruchung in der Widerlagerwand).
- Kurze Flügel (auch  $\varepsilon \lesssim 0,4$ ) von schmalen Widerlagerwänden ( $\varepsilon \lesssim 2$ ) immer gründen, um so für die Widerlagerwand zusätzliche Auflager zu schaffen, die eine günstige horizontale Tragwirkung ermöglichen.
- $k_h$ -Wert für maximales Moment zwischen 1,6 und 2,0.
- Wanddicke möglichst  $\leq 50$  cm, wenn Mindestbewehrung gem. /10/ angeordnet wird.

## 5. VERBESSERTE BAUFORMEN VON WIDERLAGERN

Eine wirtschaftliche Gestaltung von Widerlagern läßt sich erreichen durch

- Verringerung der im Bauwerk auftretenden Beanspruchung
- Verringerung der Belastungen aus Erddruck
- Typisierung und Vorfertigung

Im folgenden sollen nun diese drei Punkte, die sich selbstverständlich gegenseitig beeinflussen, besprochen werden.

### 5.1 VERRINGERUNG DER BEANSPRUCHUNG IM BAUWERK

Grundsätzlich kann man bei unveränderter Belastung die Beanspruchungen eines Bauteils durch zusätzliche Auflager oder durch größere statische Nutzhöhe des Bauteils verringern. Zusätzliche Auflager könnten Aussteifungsbalken und -scheiben, Abspannungen oder Zugbänder sein; eine Vergrößerung der stat. Nutzhöhe wäre unter Beibehaltung oder Verringerung des Betonbedarfs z.B. durch die Anwendung von Faltwerken oder Scheibentragwerken zu erreichen. Ob der hierbei erhöhte Schalaufwand evtl. durch Vorfertigung wieder wettgemacht wird, kann allgemein nicht festgestellt werden, sondern ist im Einzelfall zu überprüfen (vgl. auch Abschn. 5.3).

#### 5.1.1 AUSSTEIFUNGSSCHEIBEN UND -BALKEN

Durch die rechnerische Berücksichtigung der Horizontal-Biegesteifigkeit des Auflagerbalkens kann die hinsichtlich der Schnittkraftvertei-

lung günstig wirkende Abstützung der Widerlagerwand an ihrem oberen Rand in Anspruch genommen werden, ohne daß zusätzliche Bauteile erforderlich sind; konsequenterweise ist dann jedoch die Aufnahme der horizontalen Auflagerkräfte in der (gegründeten!) Flügelwand nachzuweisen.

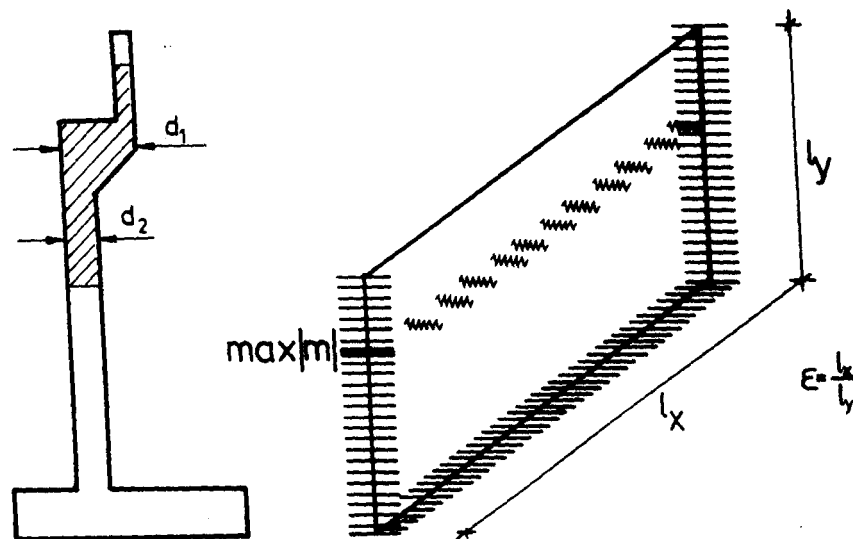


Bild 41: Tragwirkung des Auflagerbalkens

Durch die Berücksichtigung dieser Tragwirkung gelingt es, die Schnittgrößen in der Widerlagerwand, insbesondere das größte auftretende Moment (Flügel-Widerlagerwand) deutlich zu reduzieren. Ein System mit den Werten  $d_1/d_2 = 2$  und  $\epsilon = 1,7$  ergab z.B. eine Verringerung dieses Momentes von rd. 25 % (vgl. Bild 41).

Anhalte für die Schnittgrößen liefert /23/; auch könnte die Berechnung mit dem Kraftgrößenverfahren anhand des in Bild 42 dargestellten Näherungsansatzes durchgeführt werden.

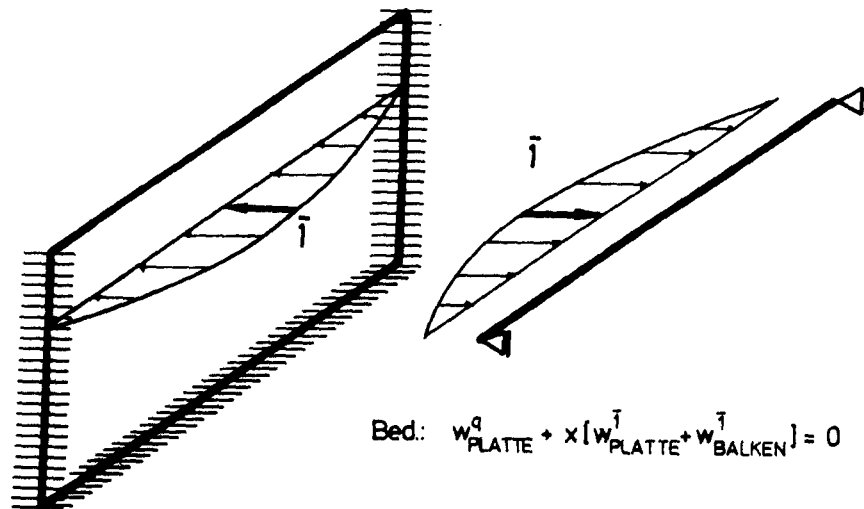


Bild 42: Näherungsansatz fürs Kraftgrößenverfahren

Die Durchbiegungen der Platte können hier mit den in der Praxis üblichen Hilfsmitteln (z.B. /66/) abgeschätzt werden.

Die Verbreiterung des Auflagerbalkens über die Kammerwand hinaus empfiehlt sich nicht, weil dann eine ausreichende Verdichtung der Hinterfüllung ohne weitere Maßnahmen nicht mehr gewährleistet ist.

Eine andere Möglichkeit zur Verringerung der Beanspruchung der Widerlagerwand ist, wie in Bild 43 dargestellt, die Anordnung von senkrechten Aussteifungsrippen.

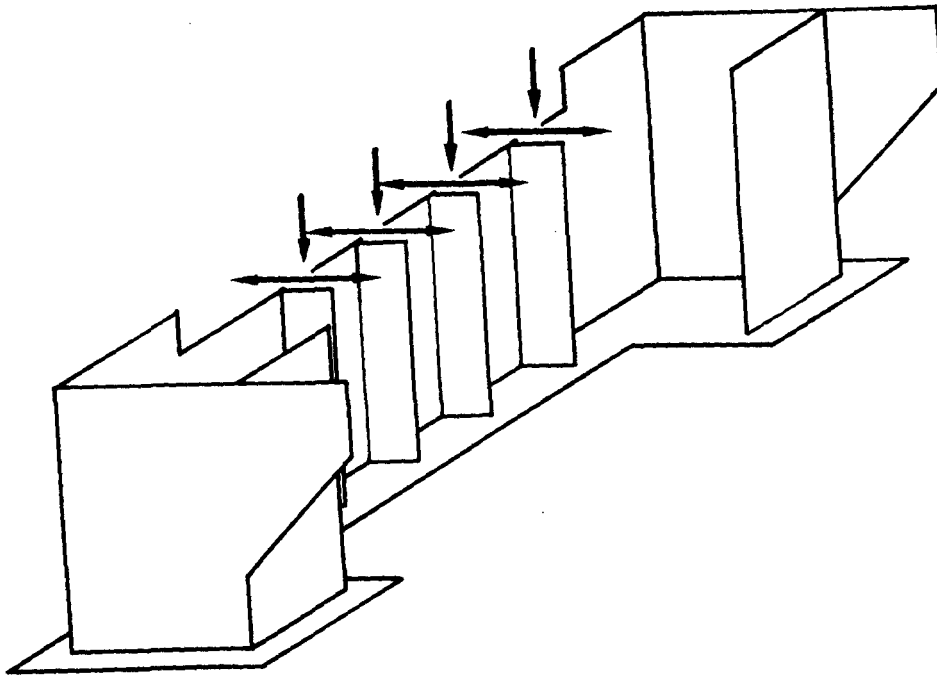


Bild 43: Senkrechte Aussteifungen

Der Abstand dieser Aussteifungen sollte nicht zu groß gewählt werden, um annähernd eine einachsige Tragwirkung der Widerlagerwand zu erreichen ( $\epsilon \lesssim 1,0$ ). Auf diese Weise wird neben einer Verringerung der Bewehrungsmenge erreicht, daß die ohnehin vorhandene waagerechte Bewehrung gegen Temperatur- und Schwindrisse weitgehend zur Aufnahme der Schnittgrößen ausreicht.

Die Vorteile der Anordnung von Aussteifungsrippen liegen in der deutlich geringeren Beanspruchung der Widerlagerwand in horizontaler und der vergrößerten Nutzhöhe in senkrechter Tragrichtung. Gegen diese Lösung spricht neben der aufwendigeren Bewehrungsführung in den Aussteifungselementen auch der erhöhte Schalungsaufwand, der jedoch evtl. durch Vorfertigung wieder wettgemacht werden kann (vgl. Abschn. 5.3).

Die Scheibentragwirkung der Widerlagerwand ist bei dieser Art der Ausführung noch vorhanden (Bild 44).

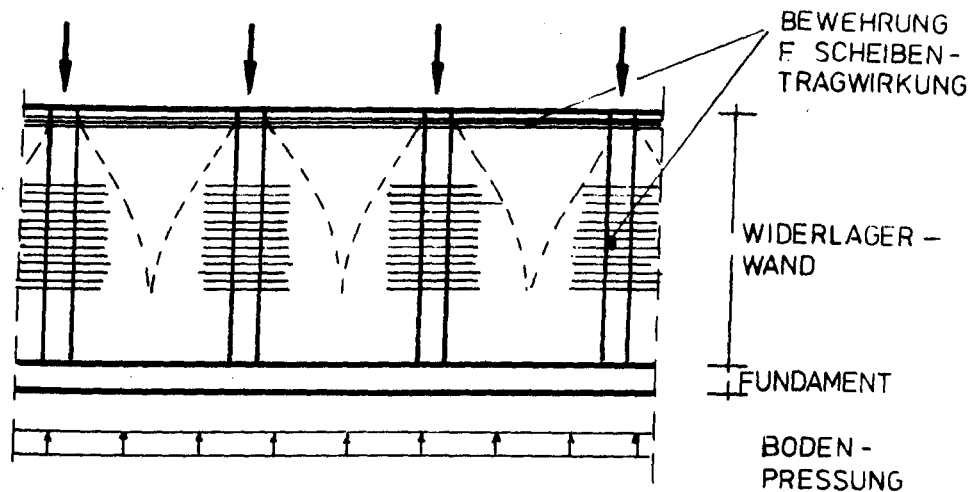


Bild 44: Scheibentragwirkung einer Widerlagerwand

Zwar wird ein Teil der senkrechten Belastung direkt von den Aussteifungsrippen getragen, der Hauptanteil wird jedoch über die Widerlagerwand ins Fundament geführt und macht somit die entsprechende Scheibenbewehrung erforderlich, die ja bekanntlich nennenswerte Anteile an der Gesamtbewehrung ausmachen kann (vgl. Abschn. 3.1.1). Überlegungen, diese Scheibenbewehrung einzusparen, führen dazu, die Aussteifungsrippen von der Widerlagerwand zu trennen (Bild 45).

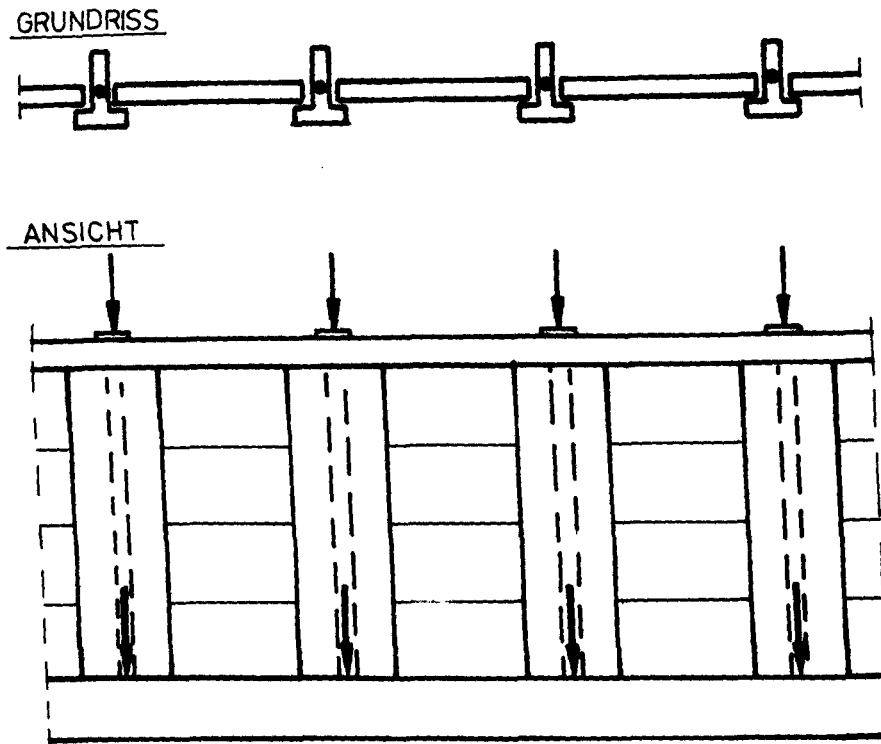


Bild 45: Trennung von Widerlagerwand und Aussteifung

Diese Vorgehensweise erscheint jedoch nur bei sehr guten Baugrundverhältnissen sinnvoll, da sonst zu erwarten ist, daß mindestens die Bewehrungsmenge, die in der Widerlagerwand eingespart wird, in der Gründung zur Verteilung der Lasten wieder zugelegt werden muß; auch wird auf zusätzlichen Aufwand für die Abdichtung hingewiesen. Für eine Konstruktion dieser Art bietet sich der Einsatz von zumindest teilweise vorgefertigten Elementen an (vgl. Abschn. 5.3).

Bei der Ausbildung des Flügelanschlusses ist zu beachten, daß eine solche Widerlagerwand keine waagerechten Zugkräfte aufnehmen kann.

#### 5.1.2 ABSPANNUNGEN UND ZUGBÄNDER

Auch durch einzelne Rückverankerungen lassen sich zusätzliche Auflager für Widerlager- und



Flügelwände schaffen. Wie schon in Abschn. 3.2 erläutert, können sich Flügelwände gegenseitig über Zugbänder abstützen; bei Widerlagerwänden besteht diese Möglichkeit nicht. Hier ist es erforderlich, die Zugglieder im Erdreich zu verankern (Daueranker), vgl. Bild 46.

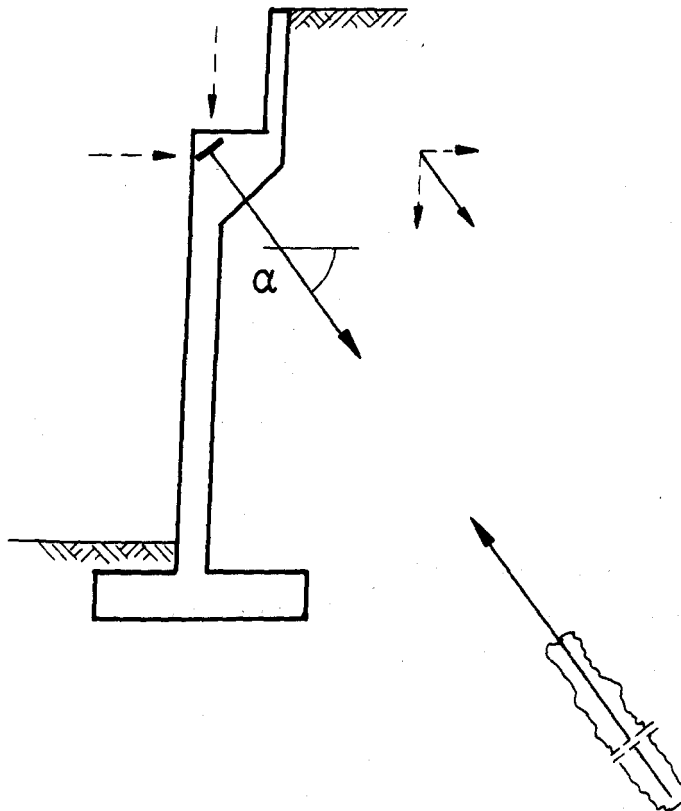


Bild 46: Abspannung

Mit größer werdendem Winkel  $\alpha$  vergrößern sich bei gleich großer Horizontal-Auflagerkraft die Druckkräfte in der Widerlagerwand (das kann für die Dimensionierung von Fundament und Widerlagerwand durchaus von Vorteil sein) und die Zugkräfte in der Abspannung, d.h., mit zunehmender Steilheit des Ankers steigen die Kosten für die Abspannung selbst und evtl. auch für die Gründung der Widerlagerwand.

Die Vorteile dieser Bauweise liegen in der deutlich geringeren Biegebeanspruchung von Widerlagerwand und Fundament, die Nachteile in den zusätzlichen Kosten für die Daueranker und in der Behinderung der Verfüllarbeiten. Zu bedenken ist auch, daß Daueranker frühestens nach einer Woche belastet werden dürfen und sich häufig wiederholende Verkehrslastanteile nicht mehr als 20 % ihrer zulässigen Gebrauchslast hervorrufen dürfen /17/.

Die Vor- und Nachteile von Zugbändern zwischen den Flügelwänden sind ähnlich:

- deutlich geringere Biegebeanspruchung der Flügelwände und bei gegründeten Flügeln auch der Fundamente
- zusätzliche Kosten durch die Anordnung der Zugbänder. Diese können jedoch durch Verwendung von Spannstählen in Verbindung mit einer Korrosionsschutztechnik entsprechend der bei Dauerankern verhältnismäßig gering gehalten werden. Diese Zugbänder sind gegen nachträgliche Setzungen der Verfüllung durch Kappen
  - entsprechend Bild 47 - zu schützen.
- Behinderung der Verfüllarbeiten.

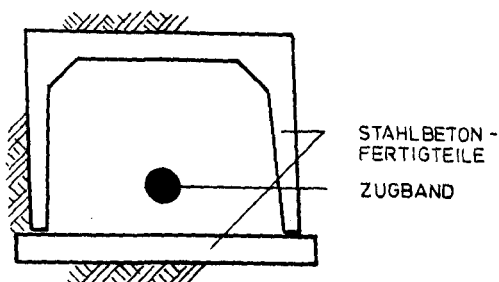


Bild 47: Abdeckung der Zugbänder

Verfolgt man den Gedanken der Rückverankerung der Bauteile konsequent weiter, kommt man zum Bauprinzip "Bewehrte Erde" (vgl. Bild 13).

Geringe Überbaulasten kann der Bewehrte-Erde-Körper selbst tragen /45/; größere Überbauten müssen für sich gegründet werden, d. h., die Bewehrte-Erde-Konstruktion nimmt nur die Lasten aus Erddruck auf. Zwischen den Stützen der Überbaugründung und den Stirnplatten der Bewehrten Erde sollte genügend Raum gelassen werden, um örtliche Überbeanspruchungen der Zugbänder der Bewehrten Erde durch Verformungen der Überbaugründung zu vermeiden (Bild 48).

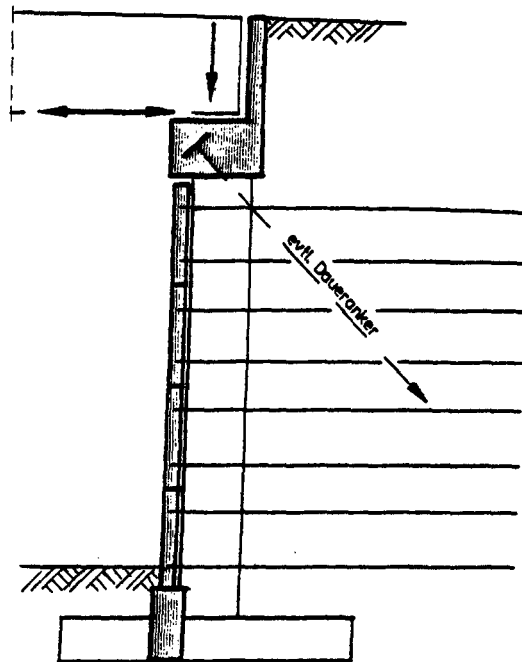


Bild 48: Getrennte Aufnahme der Überbaulasten  
bei Bewehrte-Erde-Konstruktionen

Laut /45/ ergeben sich bei normalen Gründungsverhältnissen und einer Brückenspannweite von mehr als 8 m gegenüber konventionell ausgeführten Kastenwiderlagern wirtschaftliche Einsparungen bis zu 25 %.

Es ist davon auszugehen, daß die Zugbänder des "Bewehrte-Erde-Körpers" trotz Verzinkung im Laufe der Zeit verrosten. Um Korrosionsschäden zu vermeiden, werden in /45/ Dickenzuschläge

für die Zugbänder in Abhängigkeit von Nutzungsdauer und Umweltbedingungen des Bewehrte-Erde-Körpers vorgeschlagen.

Der Umstand, daß durch Korrosion die Möglichkeit des Versagens der Zugbänder besteht und eine Wiederinstandsetzung sehr aufwendig ist, muß als großer Nachteil dieses Bauverfahrens gewertet werden, zumal sich der Erhaltungszustand eines älteren Bauwerkes kaum überprüfen läßt.

#### 5.1.3 FALTWERKE UND SCHALEN

Durch die Ausbildung der Widerlagerwände als Faltwerkkonstruktion wird erreicht, daß sich bei Beibehaltung oder Verringerung des Betonbedarfs die statische Nutzhöhe der Wand vergrößert. Einige Beispiele möglicher Faltwerksformen sind in Bild 49 dargestellt. Grundsätzlich vergrößern auch Schalenformen (z.B. Tonnenschalen, wellenförmige Schalen o. ä.) die statische Nutzhöhe eines Bauteils; zusätzlich werden im Vergleich zu Faltwerken die Schnittgrößen in Querrichtung abgebaut, der aufwendige Schalungsbau und die schwierige statisch-konstruktive Bearbeitung werden i.d.R. jedoch gegen die Anwendung dieser Bauformen in der Praxis sprechen.

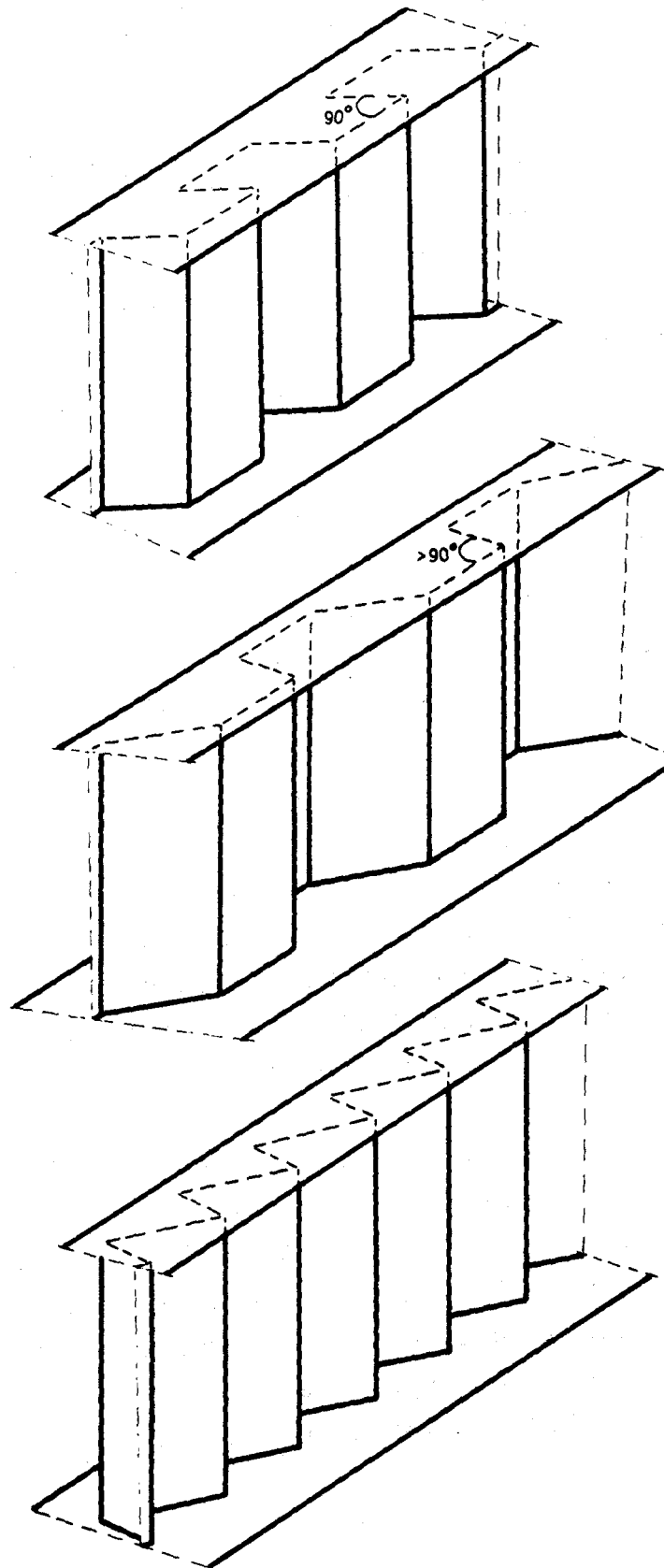


Bild 49: Für die Anwendung als Widerlagerwände  
geeignete Faltwerksformen

Bei der Konstruktion von Widerlagerwänden als Faltwerk sollten folgende Punkte bedacht werden:

- Anordnung eines in waagerechter Richtung kräftig dimensionierten Auflagerbalkens zur Verteilung der H-Lasten aus dem Überbau
- Abstimmung der Flügelausbildung auf die Konstruktion der Widerlagerwand (vgl. Abschn. 5.1.4).

Die Anordnung von Abspannungen entsprechend Abschn. 5.1.2 erscheint hier wegen der hohen Biegetragfähigkeit dieser Konstruktion nicht so vorteilhaft wie bei üblichen plattenartigen Widerlagerwänden; nennenswerte Kosten werden dann lediglich in der Gründung eingespart.

Der Vorteil dieser Bauweise liegt hauptsächlich in dem sehr geringen Stahlbedarf, die Nachteile in der aufwendigen Schalung und Bewehrungsführung, was jedoch durch Typisierung und Vorfertigung zumindest zum Teil wieder wettgemacht werden kann (vgl. Abschn. 5.3).

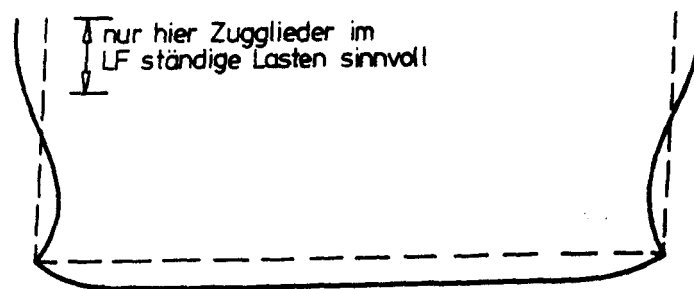
Anm.: Wird trotz der o. a. Gründe der Einsatz von Rückverankerungen in Erwägung gezogen, liegt es zumindest bei geringen Überbaulasten nahe, auch den Einsatz von Stahlspundwänden zu überprüfen. Hier sind jedoch die später anfallenden höheren Unterhaltskosten zu bedenken.

#### 5.1.4 WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DER WIDERLAGERWAND UND DEN FLÜGELWÄNDEN

Bei üblichen Kastenwiderlagern beschränkt sich die Verfolgung der gegenseitigen Beeinflussung von Flügel- und Widerlagerwand auf den Ausgleich der horizontalen Stützmomente (vgl. /20/).

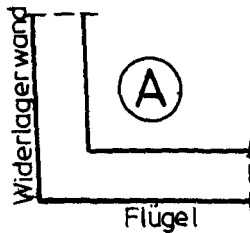
Sollen Zugbänder, gegliederte Wände, Faltwerkswände, Bewehrte Erde etc. ausgeführt werden, sind zusätzliche Überlegungen erforderlich.

Bei der Anordnung von Zugbändern zwischen gegründeten Flügelwänden, die ihrerseits biegesteif an die Widerlagerwand angeschlossen sind, ist zu beachten, daß die Zugbänder nur im hinteren Flügelteil wirksam werden können. Bedingt durch die Durchbiegung der Widerlagerwand verformen sich die Flügel in der Nähe der Widerlagerwand in Richtung Erdreich (abhängig von den Abmessungen von Flügel- und Widerlagerwand); ein in diesem Bereich angeordnetes Zugband würde keine Kräfte aus ständigen Lasten aufnehmen (Bild 50).



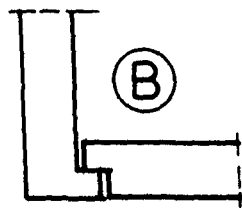
**Bild 50:** Verformungsfigur eines Kastenwiderlagers mit biegesteif angeschlossenen, gegründeten Flügeln (Grundriß)

Die Verbindung zwischen Widerlager- und Flügelwand kann grundsätzlich, wie in Bild 51 dargestellt, auf vier Arten hergestellt werden:



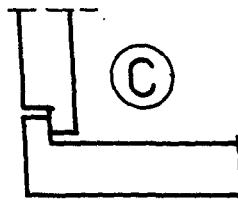
biegesteif

Flügel- und Widerlagerwand stützen sich gegenseitig ab.



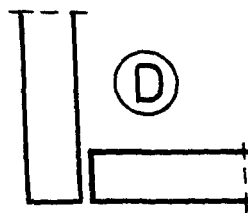
gelenkig, Flügelwand abgestützt

Widerlagerwand stützt die Flügelwand. Bis auf das Versatzmoment durch die Ausmitte des Auflagers keine Überleitung von horizontalen Biegemomenten in die Widerlagerwand. Freie Beweglichkeit der Widerlagerwand.



gelenkig, Widerlagerwand abgestützt

Flügelwand stützt die Widerlagerwand. Bis auf das Versatzmoment durch die Ausmitte des Auflagers keine Überleitung von horizontalen Biegemomenten in die Flügelwand. Freie Beweglichkeit der Flügel.



glatte Fuge

Freie Beweglichkeit beider Wände, keine gegenseitige Beeinflussung.

Bild 51: Mögliche Eckausbildungen



Die Anwendungsbereiche dieser Eckausbildungen sollen im folgenden näher erläutert werden:

1. In konventionell ausgebildeten Kastenwiderlagern mit üblichen Abmessungen sollte jede Möglichkeit der gegenseitigen Abstützung von Flügel- und Widerlagerwand ausgenutzt werden; → A  
besteht jedoch die Möglichkeit, daß Zwängungen auftreten (z. B. Rahmenbrücken, sehr lange Flügelwände), sind die entsprechenden Bindungen zu lösen (vgl. auch Abschn. 4.4). → B, D
2. Beim Einsatz von Fertigteilen in Kastenwiderlagern sind grundsätzlich zwei Fertigteilbauweisen zu unterscheiden. Mit dem Ortbeton schubfest verbundene Fertigteile verändern die Tragfähigkeit des Gesamtquerschnittes nicht; hier gelten ebenfalls die Ausführungen unter 1. "Lose" verlegte Fertigteile (vgl. z. B. Bild 45) können keine biegesteife Ecke bilden; auch ist ohne weitere Maßnahmen die Aufnahme von Zugkräften in der Widerlagerwand nicht möglich. → C
3. Gegliederte Widerlagerwände entsprechend Bild 43 besitzen in horizontaler Richtung zwar Zugfestigkeit (Scheibentragswirkung), aber nur geringe Biegesteifigkeit; → B, D  
wird die Flügelwand ebenfalls gegliedert ausgeführt, bewegen sich die Horizontalbiegesteifigkeiten der Wände in gleicher Größenordnung. → A

4. **Faltwerkswände** entsprechend Bild 49

können in Querrichtung nur geringe Biegemomente aufnehmen.

Werden die Flügelwände auch aus Faltwerken hergestellt, empfiehlt sich eine biegesteife Ecke. → A

Andere Flügelwände sollten ganz vom Faltwerk getrennt werden (vgl. Abschnitt 5.3.3). → D

5. **Wände nach dem Bauprinzip "Bewehrte**

Erde" besitzen in ihrer Gesamtheit

weder Biege- noch Zugfestigkeit. → D

Zugbänder zwischen den Flügelwänden sind dann am sinnvollsten, wenn die Ecktypen C und D zum Einsatz kommen. Bei diesen Ausbildungen können sich die Flügel in Richtung des Erddrucks frei verschieben, Zugbänder sind daher hier besonders wirksam; die Ecktypen A und B bilden jeweils Auflager für die Flügelwand, so daß Zugbänder besonders bei Typ A erst im hinteren Wandteil stärker beansprucht werden (vgl. Bild 50).

Anm.: Es ist zu erwarten, daß die Fugen vom Typ B, C und D im Laufe der Zeit aufklaffen werden. Die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit von Widerlagern werden hierdurch nicht beeinträchtigt, jedoch sollte durch Blenden o.ä. dafür Sorge getragen werden, daß diese "Risse" unsichtbar bleiben.

## 5.2 VERRINGERUNG DER BELASTUNG AUS ERDDRUCK

Der eine Stützwand belastende Erddruck hängt neben Höhe des Erdkörpers von der Lastangriffsfläche, von Größe und Verteilung der auf den Erdkörper wirkenden Verkehrslasten und vom Erddruckbeiwert ab.

### 5.2.1 VERKLEINERUNG DER LASTANGRIFFSFLÄCHE

Indem man das Widerlager den Damm "hinaufwandern" läßt, verringert sich die Lastangriffsfläche deutlich (Bild 8); zudem fallen die Flügelschwänze kleiner aus.

Durch diese Maßnahme verlängert sich allerdings der Überbau um die Strecke, um welche das Widerlager in Richtung Damm zurückgesetzt wird, so daß ein wirtschaftlicher Vorteil i.d.R. nur bis zu Überbaubreiten von etwa 15 m zu erwarten ist /2/.

Bei geringen Überbaulasten kann das Widerlager so weit zurückversetzt werden, daß es zum Auflagerbalken reduziert wird (Bild 8).

Diese architektonisch sehr befriedigende Lösung läßt sich auch bei größeren Überbaulasten ausführen, wenn der Auflagerbalken auf gewachsenem Boden gegründet werden kann. Dies wäre z.B. der Fall, wenn die Brücke einen natürlichen Einschnitt überquert. Anderenfalls wird es erforderlich, den Auflagerbalken gesondert zu gründen - etwa durch bis aufsgewachsene Erdreich geführte Wandscheiben (→ aufgelöstes Widerlager, Scheibenwiderlager) oder durch Großbohrpfähle (Bilder 9, 10).

Es ist jedoch zu bedenken, daß für diese einzelnen senkrechten Elemente (Bohrpfähle, Wandscheiben) durch die räumliche Ausbreitung der Erddruckkräfte rechnerisch eine größere Belastungsbreite anzusetzen ist (DIN 1072, 5.1.2; DIN 1055, Teil 3, 9.7), wodurch der Vorteil der geringeren Belastungsfläche zum Teil wieder verlorengeht. Auf diese vergrößerte Fläche darf

allerdings gemäß /61/ aktiver Erddruck angesetzt werden, sofern nicht der Ruhedruck auf der tatsächlichen Breite größere Werte ergibt.

#### 5.2.2 ABSCHIRMUNG DES ERDDRUCKS

Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung der Horizontalbelastung besteht in der Abschirmung der horizontalen Belastung. Durch Sporne oder Tornister (Bilder 7, 52) läßt sich der Horizontalerddruck um die Anteile abmindern, die durch die oberhalb des Sporns (Tornisters) wirkenden Vertikallasten hervorgerufen werden.

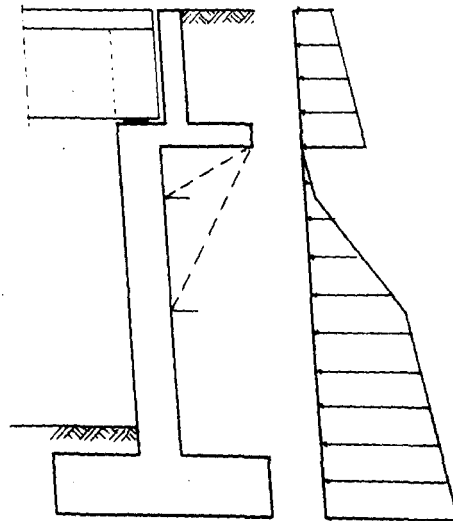


Bild 52: Widerlagerwand mit Sporn

Zusätzlich zur Verringerung des Erddrucks erzeugt der Sporn in der Stützwand ein rückdrehendes, entlastendes Biegemoment.

In der schwierigen Verdichtung des Bodens unterhalb des Sporns ist der Hauptnachteil dieser Konstruktionsweise zu sehen.

Bei Tornisterwiderlagern ist nur der obere Teil der Widerlagerwand durch Erddruck belastet; der Tornister leitet die Lasten direkt in die Flügelschwände ab.

Die Nachteile dieser Bauart sind:

- hoher Schal- und Bewehrungsaufwand
- lange, gegründete Flügel erforderlich
- mögliche Setzungen im Bereich hinter dem Tornister (Bild 7)

### 5.2.3 VERRINGERUNG DER ERDDRUCKBEIWERTE

Die Erddruckbeiwerte (Horizontaldruck : Vertikaldruck) sind abhängig von den Bodeneigenschaften, der Nachgiebigkeit der Stützwand, der Rauigkeit der Stützwandoberfläche ( $\rightarrow$  Wandreibungswinkel) und der Neigung der Stützwandoberfläche, wobei Variationen von Oberflächenrauigkeit und -neigung allerdings nur geringe Veränderungen des Erddruckbeiwertes bewirken. Zudem gehen noch die Breite des Arbeitsraumes (Silodruck) und die Verdichtung des Bodens ein.

Bei unbehandelten Oberflächen von Stahl, Beton und Holz darf der Wandreibungswinkel mit  $\delta = \frac{2}{3}$  angesetzt werden /12/.

Erst bei Wandneigungen von  $20^\circ$  werden sprühbare Verkleinerungen des Erddruckbeiwertes bemerkbar, die jedoch selbst bei  $30^\circ$  erst etwa 10 % ausmachen /33/.

Die Wände eines herkömmlichen Kastenwiderlagers sind entsprechend /12/ als starr und unverschieblich anzusehen; gleiches gilt für durch Rippen verstärkte Winkelstützmauern. Dementsprechend ist für die Bemessung der Einzelteile dieser Bauwerke (nicht beim Nachweis der Standicherheit des Gesamtbauwerks) der Erdruhedruck anzusetzen. Werden Winkelstützwände ohne Aussteifungsrippen ausgeführt und die Flügel durch eine Raumfuge von der Widerlagerwand getrennt, handelt es sich im Sinne von /12/ um nachgiebige Stützbauwerke, bei denen aktiver Erddruck angesetzt werden darf, sofern sie auf Lockergestein gegründet sind. Werden allerdings die Bewegungsmöglichkeiten eines solchen Bauwerks eingeschränkt, z. B. durch Wahl entsprechender Wanddicken, größerer Fundamentflächen zur Herabsetzung der Kantenpressung oder zusätzlicher Rückverankerung am Wandkopf (Auflagerbalken), sollte mit einem erhöhten aktiven Erddruck - etwa Mittelwert aus aktivem Erddruck und Erdruhedruck - gerechnet werden.

Auch Bauwerke nach dem Prinzip "Bewehrte Erde" (vgl. Abschn. 5.1.2) sind als nachgiebig anzusehen und brauchen daher rechnerisch ebenfalls nur mit aktivem Erddruck belastet zu werden.

Eine weitere Konstruktionsform, auf die nur aktiver Erddruck wirkt, ist die Schwergewichtsmauer, die allerdings in ihrer ursprünglichen Form als Widerlager- oder Flügelwand kaum in Betracht kommt. Eine neuere Bauform, die in ihrer Wirkungsweise einer Schwergewichtsmauer gleichkommt, ist die Raumgitterstützwand, auch Krainerwand genannt. Sie stellt eine Weiterentwicklung der beim Wildbach- und Forstwegeverbau üblichen Steinkästen aus Rundholz mit Steinfüllung dar.

Raumgitterstützwände bestehen aus 1,5 cm bis 2,0 m langen Betonfertigteilen (Läufer und Binder), die zu rechteckigen Raumgittern zusammengesetzt und mit durchlässigem Boden ver- und hinterfüllt werden (Bild 53). Das verfüllte Raumgitter wirkt dann wie ein Körper ( $\rightarrow$  Schwerkheitsmauer). In /7/ sind Tragverhalten und Bemessung näher erläutert. Diese Wände haben sich im Straßenbau bei Böschungen und Dämmen gut bewährt und wurden dort schon mit einer Neigung von i.d.R. 5 : 1 bis zu 30 m Höhe errichtet.

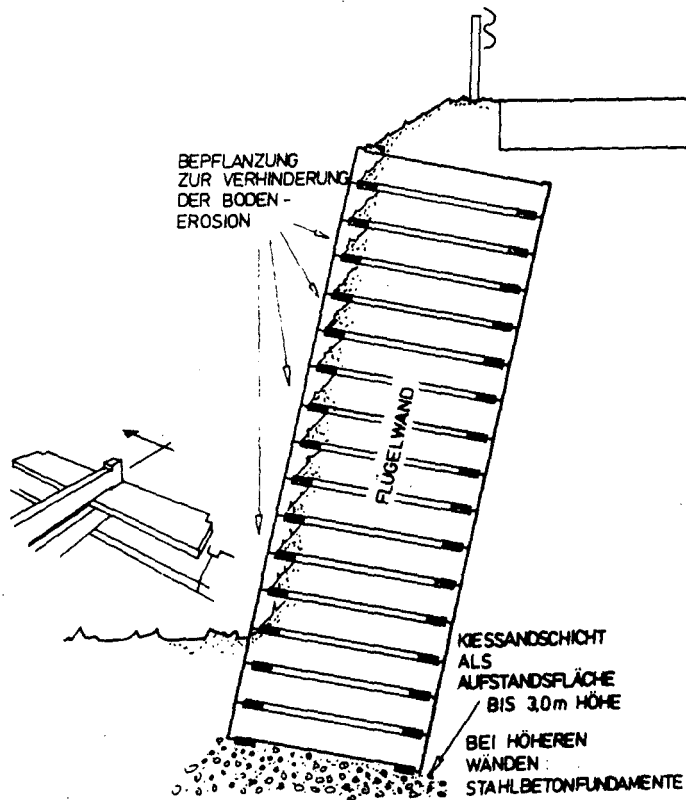


Bild 53: Raumgitterstützwand

Diese Bauweise bietet sich für Flügelwände von Widerlagern an, insbesondere dann, wenn die Flügelwände ohnehin von der Widerlagerwand getrennt ausgeführt werden müssen (vgl. Abschn. 5.1.4; 5.3).

In der Hinterfüllung hoher Brückenwiderlager treten trotz guter Verdichtung Setzungen auf. Um die Bildung von Stufen, die den Verkehr gefährden würden, zu vermeiden, können z. B. Schleppplatten angeordnet werden. In Widerlagern mit einer Hinterfüllung aus einem Boden-Zement-Gemisch können keine Nachverdichtungen und daher auch keine Setzungsunterschiede auftreten. Die Schleppplatte kann entfallen.

Aufgrund guter Erfahrungen, z. B. im Gleiskörperbau, findet diese Bauweise in Bayern auch bei Brückenwiderlagern von Autobahnen Anwendung. Man bringt Kiessand in 15 bis 20 cm dicken Schichten ein und mischt 2 % Zement mit Bodenfräsern zu. In ortsfesten Zwangsmischern gemischt, kann je nach Leistungsfähigkeit der eingesetzten Verdichtungsgeräte das Material in 20 bis 30 cm dicken Schichten eingebracht werden /62/.

Durch diese Maßnahme werden die Festigkeitseigenschaften der Hinterfüllung verbessert, und es besteht Grund zu der Annahme, daß die Erddruckbelastung auf Widerlager- und Flügelfwand deutlich verringert wird. Dieser Frage sollte im Rahmen eines anderen Forschungsvorhabens nachgegangen werden, wobei ebenfalls untersucht werden sollte, ob durch wiederholte Belastung aus dem Straßenverkehr auf der Hinterfüllung das Gefüge des zementgebundenen Erdkörpers wieder gelockert werden kann.

Durch Zementzugabe werden vermutlich folgende Eigenschaften eines Kies-Sand-Gemisches verbessert:

- Zugfestigkeit (→ Kohäsion)
- innerer Reibungswinkel
- Steifigkeit (E-Modul, Verformungsmodul)



Ob die Zugfestigkeit (Kohäsion) des zementverfestigten Bodenkörpers angesetzt werden sollte, erscheint auf den ersten Blick fraglich und bedarf ebenfalls genauerer Untersuchungen.

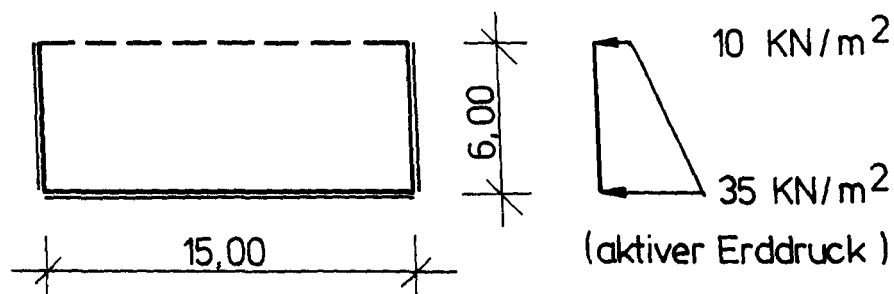
Durch den vergrößerten inneren Reibungswinkel ist eine deutliche Verminderung des Erdruhe-drucks zu erwarten: Allein die Erhöhung von  $30^{\circ}$  auf  $32,5^{\circ}$  verkleinert die Erddrucklast um ca. 8 %.

Die größere Steifigkeit des Bodens bewirkt u.a., daß in Richtung auf den Erdkörper wirkende H-Lasten aus dem Überbau z.T. direkt von der Hinterfüllung aufgenommen werden (elastische Bettung mit erhöhter Bettungsziffer); die Biegebeanspruchung der Widerlagerwand wird somit verringert.

Auch werden die Vorformungen, die im Boden nötig sind, um den Erdruhedruck auf aktiven Erddruck abzumindern, durch eine erhöhte Bodensteifigkeit verkleinert. Dies führt dazu, daß Kastenwiderlager, in denen Widerlagerwand, Flügelpwände und Fundament biegesteif miteinander verbunden sind, durch einen geringeren Erddruck beansprucht werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß die Annahme des Erdruhedrucks immer auf der sicheren Seite liegt, denn dieser wird für eine absolut unverschiebliche Wand ermittelt. Auch bei einem Kastenwiderlager, deren Widerlagerwand, Flügelpwände und Fundament biegesteif miteinander verbunden sind, treten Verformungen auf, die z. B. in der Mitte einer breiten Widerlagerwand durchaus ausreichen können, den Erdruhedruck auf aktiven Erddruck abzumindern (vgl.

auch Abschn. 3.1.3). In /12/ wird allerdings für ein solches Widerlager verlangt, Erdruhe-  
druck anzusetzen. Eine Vergleichsrechnung  
(vgl. Bild 54) zeigt, daß eine 50 cm dicke  
Widerlagerwand, selbst wenn sie ganz im Zu-  
stand I verbleibt (unterer Grenzwert der Durch-  
biegung), ohne Berücksichtigung der Fundament-  
verdrehung unter aktivem Erddruck Durchbiegun-  
gen von  $\approx 3,0$  mm aufweist.



$d = 50$  cm ; B 35

$B^I = 34000 \times 0,50^3 / 12 = 350 \text{ MNm}^2/\text{m}$  (ungerissen)

$w_{\square} = 10 \times 15 \times 6 \times 15^2 / (350 \times 330) = 1,75 \text{ mm}$

$w_{\triangle} = 12,5 \times 15 \times 6 \times 15^2 / (610 \times 350) = 1,19 \text{ mm}$

$w \approx 3,0 \text{ mm}$

Bild 54: Durchbiegung der Widerlagerwand eines  
herkömmlichen Kastenwiderlagers

Dies entspricht  $\frac{1}{2000}$  der Wandhöhe. In /60/ wer-  
den Verformungen von  $\frac{h}{2000}$  genannt, die genügen,  
den Erddruck auf aktiven Erddruck abzumindern,  
d. h., gerade in Wandmitte, wo eine Belastung  
die größten Biegebeanspruchungen erzeugt, liegt  
die Annahme Erdruhedruck weit auf der sicheren  
Seite. Zutreffender erscheint der Ansatz eines  
Erddruckverlaufes unter Berücksichtigung von  
Größe und Verlauf der Wandverformung, der vom  
Erdruhedruck in den Ecken bis im günstigsten  
Fall zum aktiven Erddruck im Mittelbereich der  
Widerlagerwand hin abnimmt.

Mit einer solchen Erddruckverteilung wird Bewehrung eingespart und somit die Wirtschaftlichkeit des Widerlagers verbessert, zumal in der Nähe des Erdruhedrucks schon geringe Verformungen genügen, den Erddruck deutlich zu verringern (Bild 55).

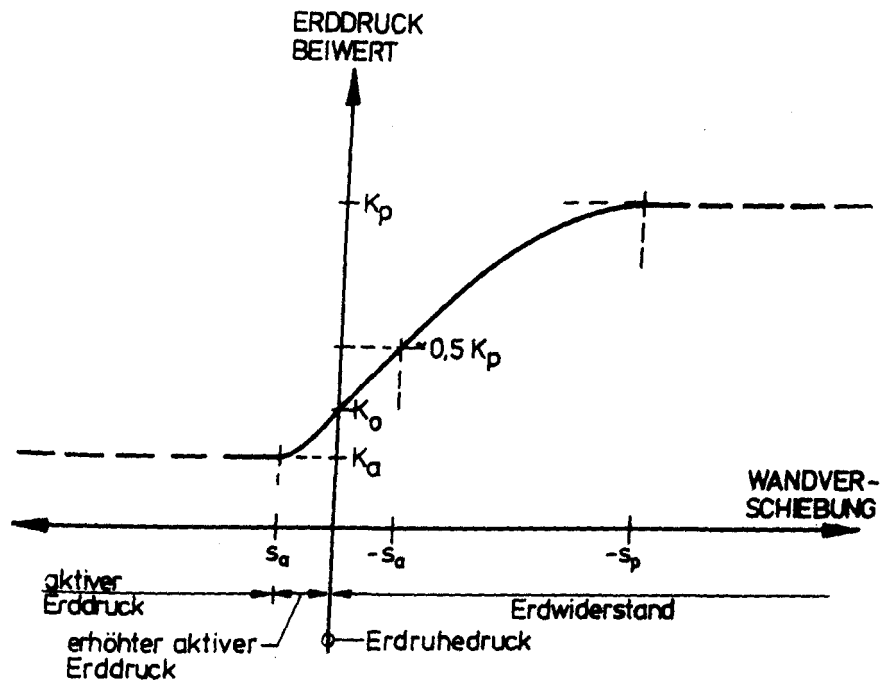


Bild 55: Erddruck-Weg-Diagramm /61/

Es scheint daher dringend geboten, dem entwerfenden Ingenieur auch durch Versuche abgesicherte Konstruktionshilfen zu erarbeiten, die es ihm ermöglichen, direkt von der Nachgiebigkeit (Verformung) eines Widerlager-Bauwerks auf den anzusetzenden Erddruck zu schließen. Widerlager zeigen in bezug auf Arbeitsraumbreite, Hinterfüllmaterial, Verdichtung etc. meist ähnliche Voraussetzungen, weswegen für solche Bauwerke detaillierte Vorschläge für eine wirklichkeitsnahe Erddruckannahme angegeben werden könnten, obwohl sich die allgemeine Lösung dieser Aufgabe wegen ihrer Komplexität sehr schwierig gestalten würde.

#### 5.2.4 RÄUMLICHER ERDDRUCK

Theoretische Untersuchungen über den räumlichen aktiven Erddruck liegen von verschiedenen Verfassern vor /16/. Sie sind im wesentlichen für die Bestimmung des Erddrucks auf suspensionsgestützte Wände vorgenommen worden. Die Verfasser von /43, 47/ gehen davon aus, daß sich vor der Wand ein horizontales Gewölbe ausbildet. Das Erdreich innerhalb des Gewölbes hat das Bestreben, auf der maßgebenden Gleitfläche abzurutschen, und erzeugt so (aktiven) Erddruck auf der Wand. Die maßgebliche Richtung der Gleitfläche ist diejenige, unter welcher die maximale Erddruckkraft bei Einhaltung des Kräftegleichgewichts erzeugt wird (Bild 56).

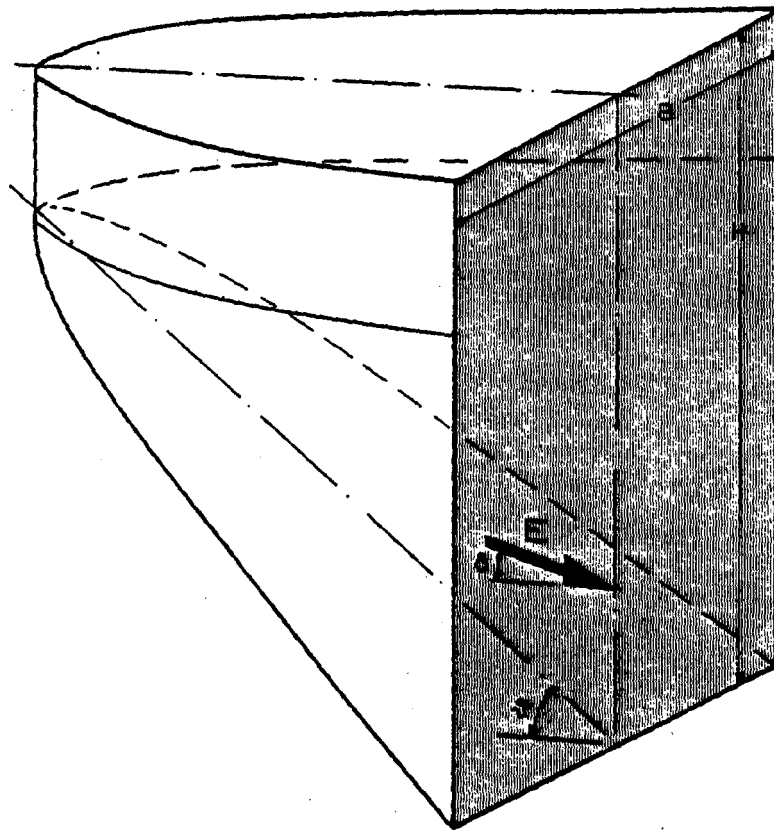


Bild 56: Bruchkörpermodell nach /47/

Es liegt auf der Hand, daß mit zunehmender Schlankheit der belasteten Wand die Entlastung durch die Gewölbebildung im Verhältnis immer stärker wird. Dies geht auch aus Bild 57 her-

vor, in dem der räumliche aktive Erddruck, ermittelt nach /16/, dem ebenen aktiven Erddruck gegenübergestellt wird.

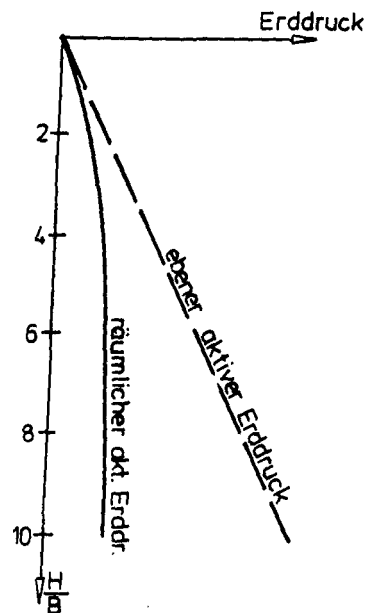


Bild 57: Aktive Erddrücke mit zunehmender Tiefe

Man erkennt, daß sich in größerer Tiefe offensichtlich ein Maximalerddruck einstellt, der nur noch von der Breite der Wand abhängig ist:

$$\max e_{ah} \approx 2,5 \cdot k_{ah} \cdot \gamma \cdot B$$

$e_{ah}$  - aktiver, horizontaler Erddruck

$k_{ah}$  - Erddruckbeiwert für den aktiven, horizontalen Erddruck

$\gamma$  - Wichte des Bodens

$H$  - Höhe (Tiefe) der Wand

$B$  - Breite der Wand

In wieweit lassen sich diese Überlegungen nun auf die Verhältnisse in einem Widerlagerbauwerk übertragen?

Die Annahme eines horizontalen Gewölbes unterstellt, daß die entsprechenden Gewölbeschübe auch aufgenommen werden können. Bild 58 zeigt das Kräftespiel in den Widerlagerecken: Dem Gewölbeschub (Druckkraft) halten Zugkräfte in Widerlager- und Flügelwand das Gleichgewicht.

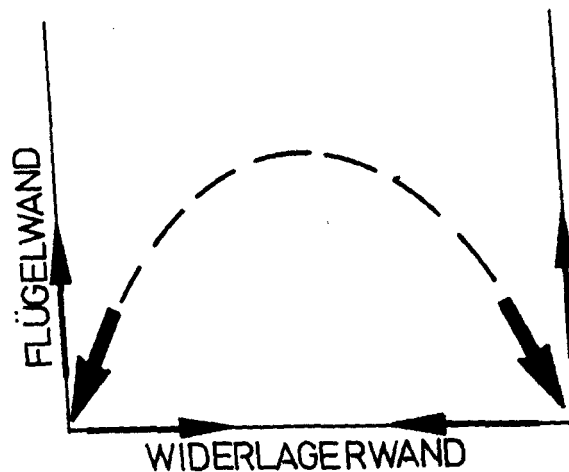


Bild 58: Aufnahme des Gewölbeschubes durch Widerlager- und Flügelwand (Horizontal-schnitt)

Diese Kraftzerlegung verlangt allerdings, daß Widerlager- und Flügelwand zugfest miteinander verbunden sind. Diese zugfeste Verbindung verringert wiederum die Nachgiebigkeit der Widerlagerwand, die zur Abminderung des Erdruhedrucks auf aktiven Erddruck unbedingt erforderlich ist. Daraus ist zu folgern, daß das erläuterte Bruchmodell, das für die Bemessung von flüssigkeitsgestützten (Schlitz-) Wänden sehr gute Dienste leistet, sich auf Widerlagerwände ohne weiteres nicht übertragen läßt. Deutliche Abminderungen des aktiven Erddrucks ergeben sich ohnehin erst von einem Seitenverhältnis Höhe zu Breite von etwa 1,0 (auf  $\sim 80\%$ ) an, was bei Brückenwiderlagern nur selten erreicht wird.

### 5.3 TYPISIERUNG UND VORFERTIGUNG

Welche Widerlagerformen sich grundsätzlich für eine Vorfertigung eignen, wurde z. T. schon in Abschn. 5.1 angesprochen. Im folgenden sollen noch einige zusätzliche konstruktive Hinweise gegeben werden.

### 5.3.1 WIDERLAGER MIT AUSSTEIFUNGSRIPPEN

Dient die Widerlagerwand lediglich der Aufnahme der Horizontallasten aus Erddruck, sind keine kraftschlüssigen Verbindungen der Wandelemente untereinander erforderlich (Bild 59).

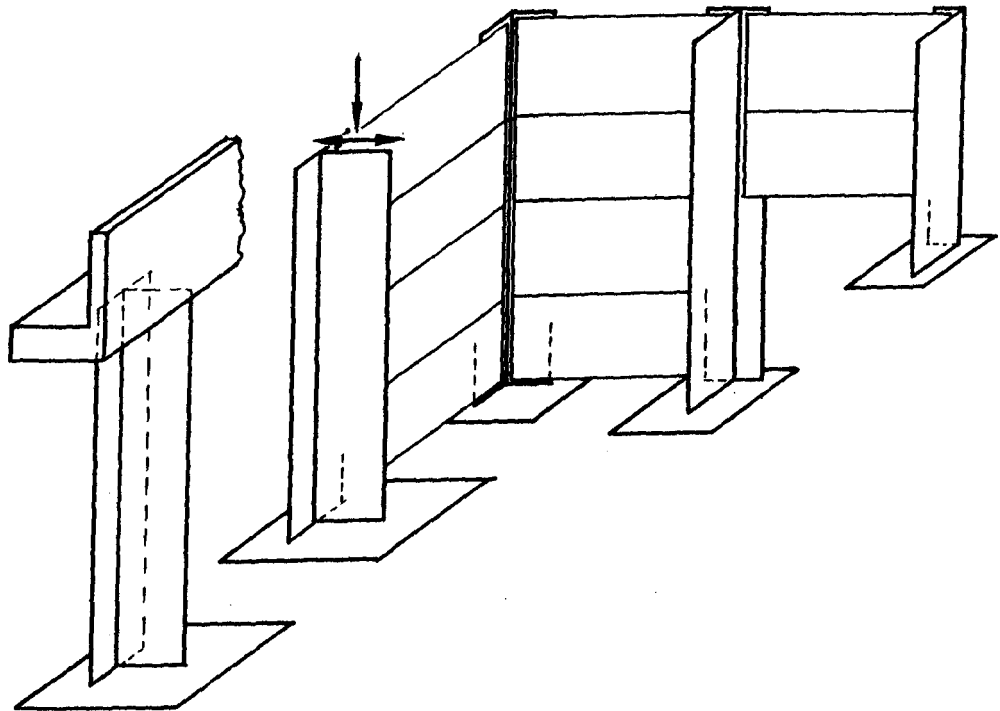


Bild 59: Widerlagerwand ohne Scheibentragwirkung

Bei entsprechender Ausbildung bzw. Anordnung der Rippen kann im Endzustand auch auf zug- und schubfeste Verbindungen zwischen den Wandelementen und den Rippen verzichtet werden (Bild 60).

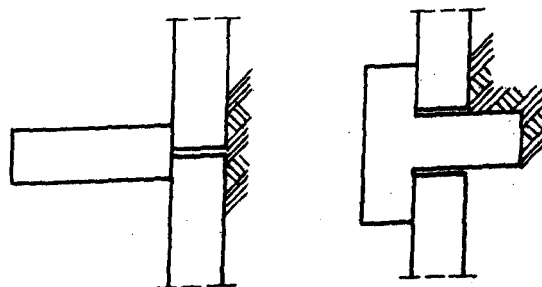


Bild 60: Abstützung der Wandelemente gegen die Rippen

Einen möglichen Anschluß einer Aussteifungsrippe an Fundament und Auflagerbalken zeigt Bild 61.

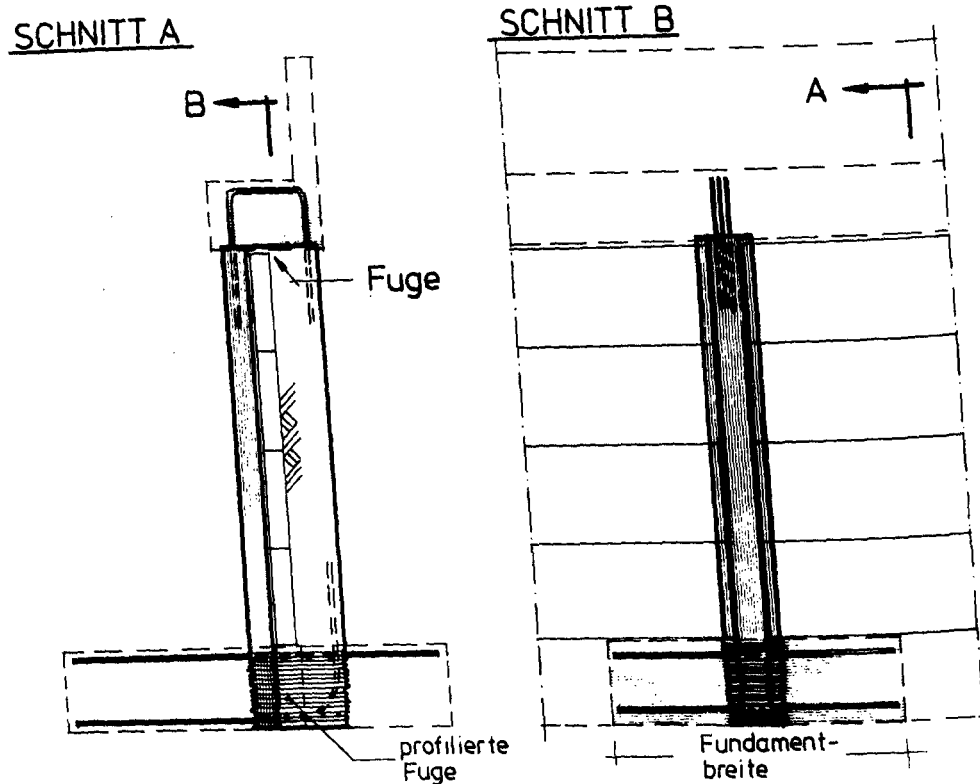


Bild 61: Fundament- und Auflagerbalkenanschluß einer Fertigteilrippe

Durch die Ausbildung einer Fuge zwischen dem Auflagerbalken und den Wandelementen wird eine ungewollte vertikale Belastung der Wandelemente vermieden.

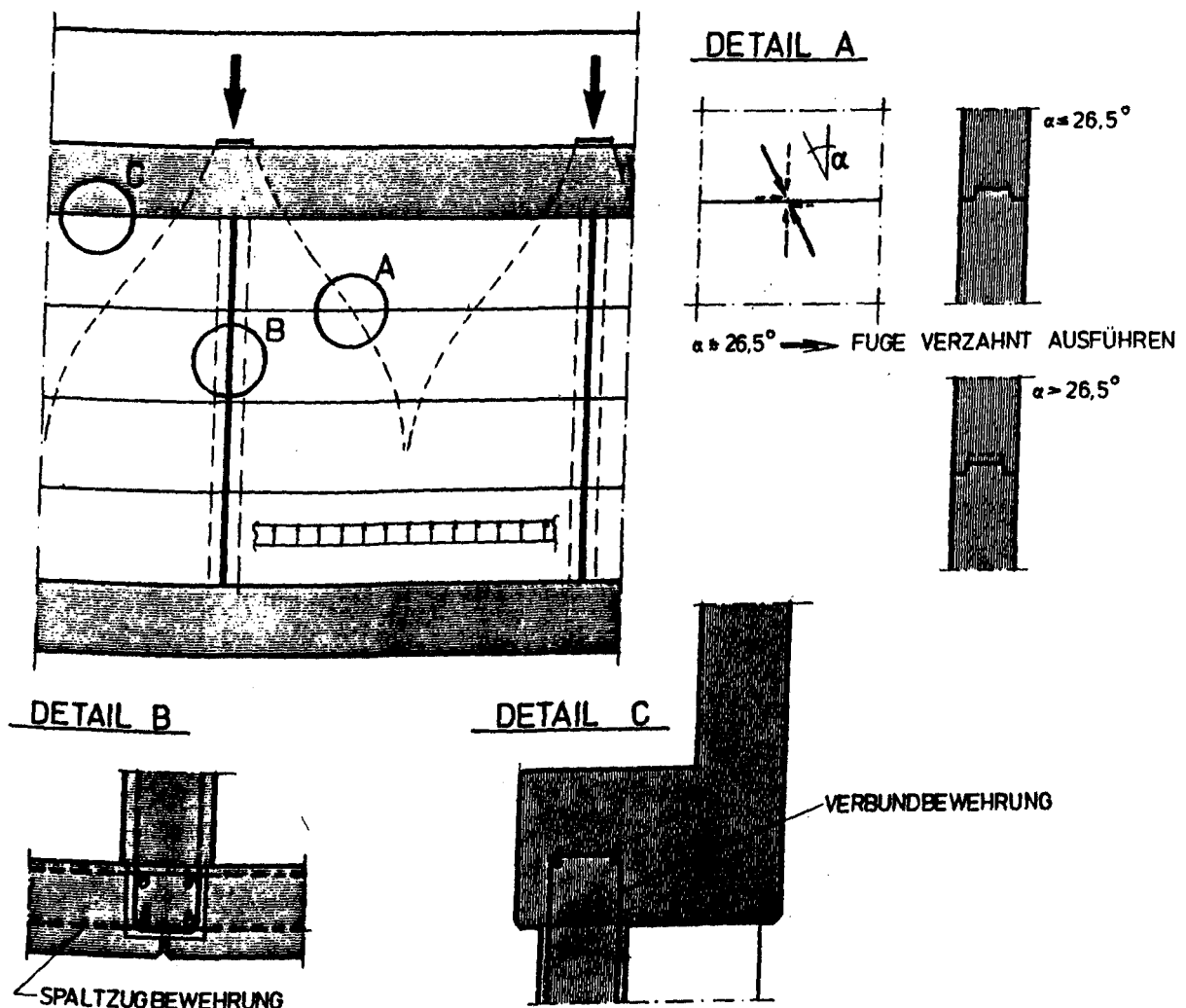
Die Lager des Überbaues sollten möglichst direkt über den Aussteifungsrippen angeordnet werden, um die Beanspruchung des Auflagerbalkens gering zu halten. Der Auflagerbalken dient neben der Aufnahme der Überbaulasten der zusätzlichen Aussteifung der Widerlagerwand; des-



halb scheint eine Ausführung in Ortbeton angebracht.

Sollen die senkrechten Überbaulasten nicht nur über die Aussteifungsrippen, sondern auch über die Wandelemente abgetragen werden, sind zur Herstellung der Scheibentragwirkung der Wand zusätzliche Maßnahmen erforderlich (vgl. Bild 62):

1. Mörtelfuge zwischen den liegenden Wandelementen zur Übertragung der Druckkräfte,
2. schub- und zugfeste Verbindung der nebeneinander liegenden Wandelemente mit den Aussteifungsrippen und untereinander.



**Bild 62:** Übertragung von Scheibenkräften in einer Fertigteil-Widerlagerwand

Aussteifungsrippen in den Widerlagerecken sind für eine Widerlagerwand mit Scheibentragwirkung nicht erforderlich (Bild 63).

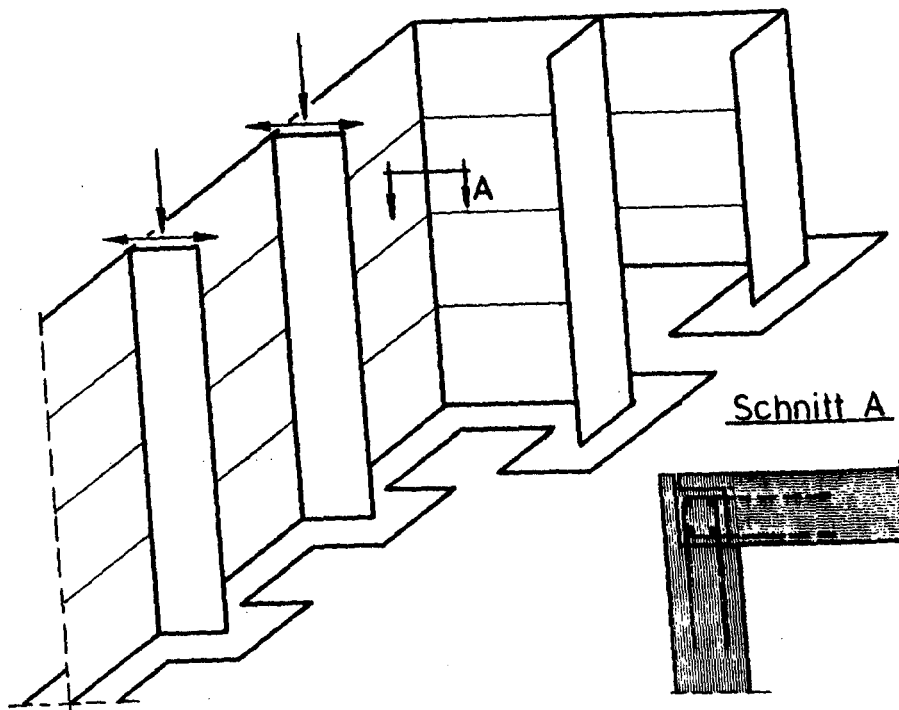


Bild 63: Fertigteil-Widerlagerwand ohne Aussteifungsrippe in den Ecken

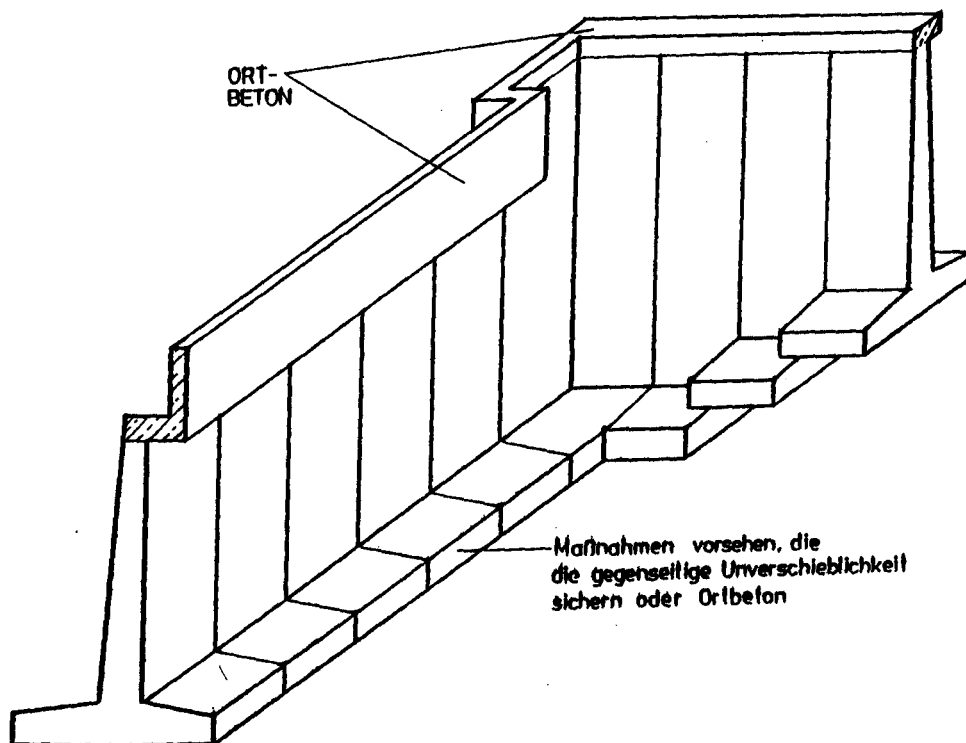
Eine gemischte Bauweise - Aussteifungsrippen als Fertigteil und Widerlagerwand - in Ortbeton wäre ebenfalls denkbar.

Die Vorteile: - keine Dichtungsprobleme,  
- Scheibentragwirkung wie beim Ortbetonbauwerk ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen.

Ob Abspannungen der Rippen der Widerlagerwand bzw. Zugbänder zwischen den Flügelrippen wirtschaftlich sind, muß von Fall zu Fall untersucht werden. Hier sind allerdings - bedingt durch die große Bauhöhe ( $\rightarrow$  statische Nutzhöhe) der Aussteifungsrippen - wesentliche Einsparungen nur in der Gründung zu erwarten.

### 5.3.2 STÜTZWANDWIDERLAGER

In Bild 40 ist der erhöhte Stahlbedarf einer einseitig unten eingespannten Widerlagerwand gegenüber dem der dreiseitig gelagerten und eingespannten Widerlagerwand (mit oder ohne Trennfuge) dargestellt. Der Mehrstahlbedarf der nur unten eingespannten Wand wird mit zunehmender Breite des Widerlagers geringer, was auch einleuchtet, denn eine sehr breite dreiseitig gelagerte und eingespannte Wand trägt in ihrem Mittelteil wie eine Winkelstützwand. Es bietet sich daher an, breitere Widerlagerwände in lauter einzelne Stützwände entsprechend Bild 64 aufzuteilen.



**Bild 64:** Stützwandwiderlager

Die Breite der einzelnen Elemente richtet sich nach den zur Verfügung stehenden Hebezeugen. Der Auflagerbalken wird auch hier in Ortbeton ausgeführt, um möglicherweise vorhandene Höhenunterschiede auszugleichen und ungleichmäßige Verformungen der einzelnen Elemente zu verhindern. Im Bereich der Fundamente sollte das Widerlager ebenfalls so konstruiert sein, daß sich die einzelnen Elemente nicht gegeneinander verschieben können. Dies könnte durch entsprechende Fugenausbildung der Fundamente (profiliert + Verguß), nachträglich auf- oder anbetonierte Versteifungsbalken oder durch eine Ortbetonausführung der Gründung ähnlich Bild 61 erreicht werden.

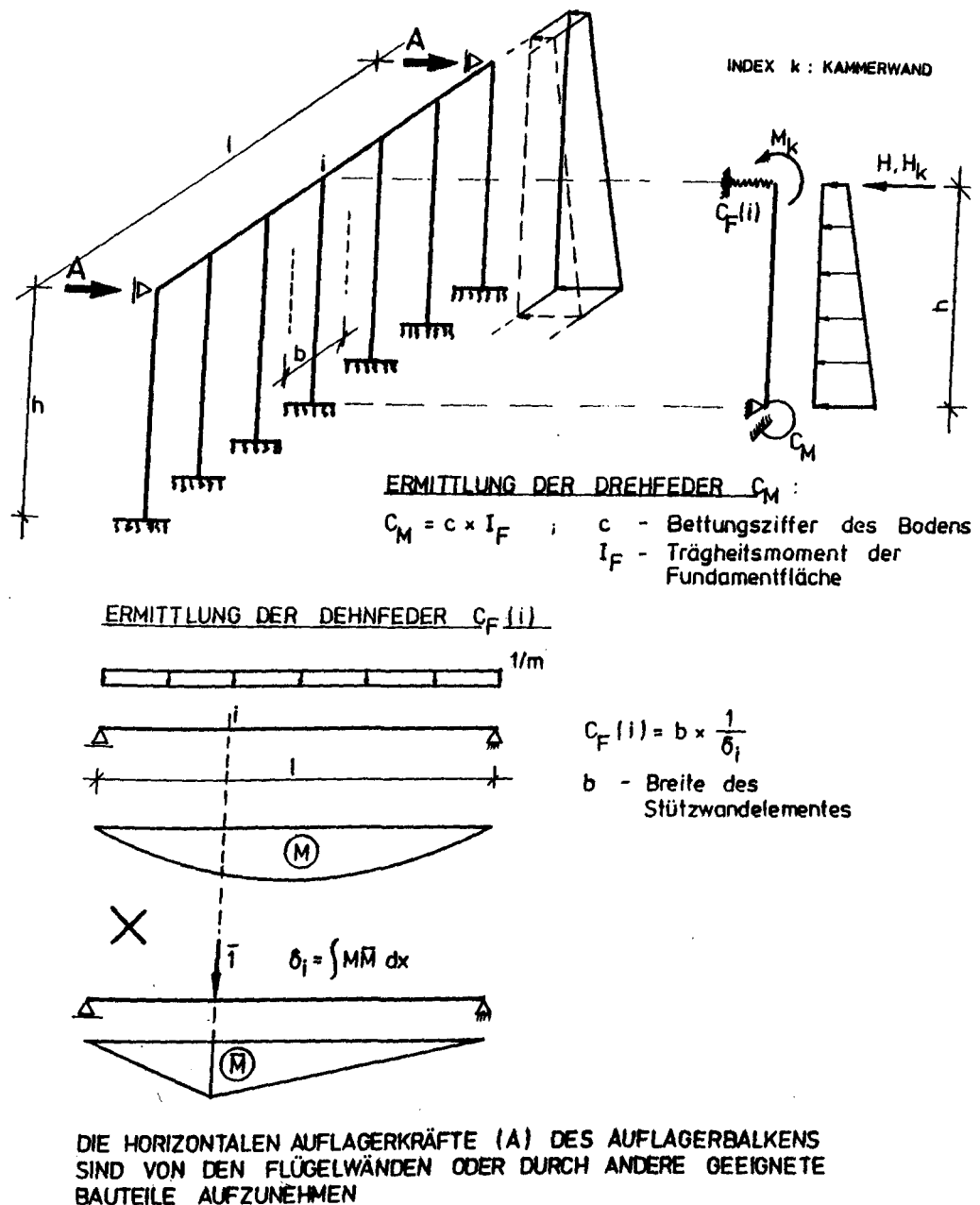
Durch die eindeutig einachsige, senkrechte Lastabtragung dieses Widerlagertyps erreichen Abspannungen bei der Widerlagerwand und Zugbänder zwischen den Flügeln einen hohen Wirkungsgrad. Es ist zu empfehlen, hier grundsätzlich deren Einsatz in Hinsicht auf Wirtschaftlichkeit zu überprüfen.

Der Ansatz der horizontalen Biegesteifigkeit des Auflagerbalkens bei gleichzeitiger Berücksichtigung der elastischen Einspannung des Fundamentes bewirkt zumindest bei schmaleren Widerlagern ebenfalls einen deutlichen Abbau der Schnittgrößen in den Wandelementen (Bild 65). Folgerichtig sind dann aber die Flügelwände so auszubilden, daß sie die durch diese Tragwirkung entstehenden Kräfte aufnehmen können:

- Rückverankerung der horizontalen Auflagerkraft des Auflagerbalkens,
- Aufnahme der Zugkräfte in der Ortbetonkappe,

- schubfeste Verbindung der Fugen durch Profilierung o. ä.,
- zugfeste Verbindung der Elemente im Fundament-Bereich.

Wegen der Auswirkung dieser Maßnahmen auf den belastenden Erddruck s. Abschn. 5.2.3.



**Bild 65:** Berechnungsansätze zur rechnerischen Erfassung der Tragwirkung des Auflagerbalkens

Auch aufgelöste Widerlager sind in Fertigteilbauweise denkbar (z. B. Bild 59 ohne Wandelemente). Fertigteilstützen in Verbindung mit Ortbeton-Auflagerbalken und -Gründung wären eine mögliche Ausführungsform. Die Anschlüsse könnten sich an Bild 61 orientieren.

### 5.3.3 WIDERLAGER AUS FALTWERKEN

Wie schon in Abschn. 5.1.3 erläutert, zeichnen sich Widerlagerwände aus Faltwerken durch einen besonders geringen Bedarf an Beton und Stahl aus - allerdings verbunden mit einem erhöhten

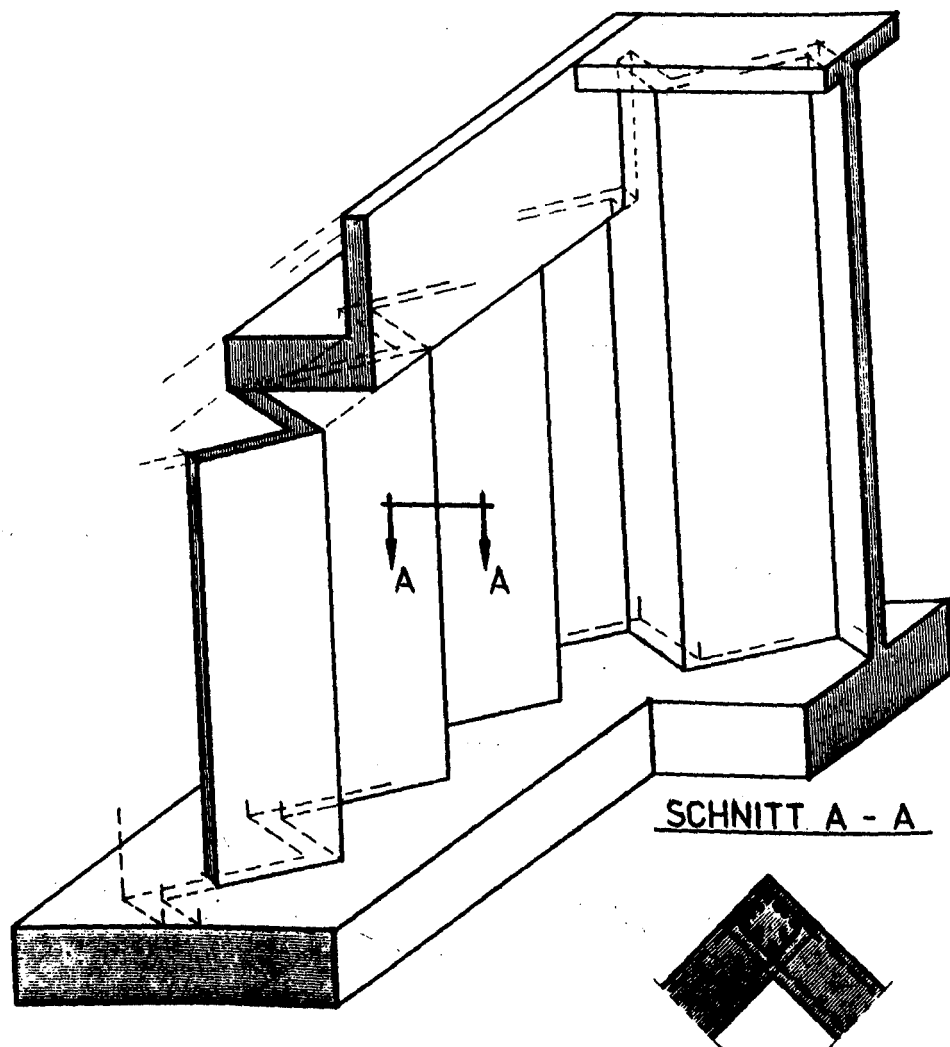
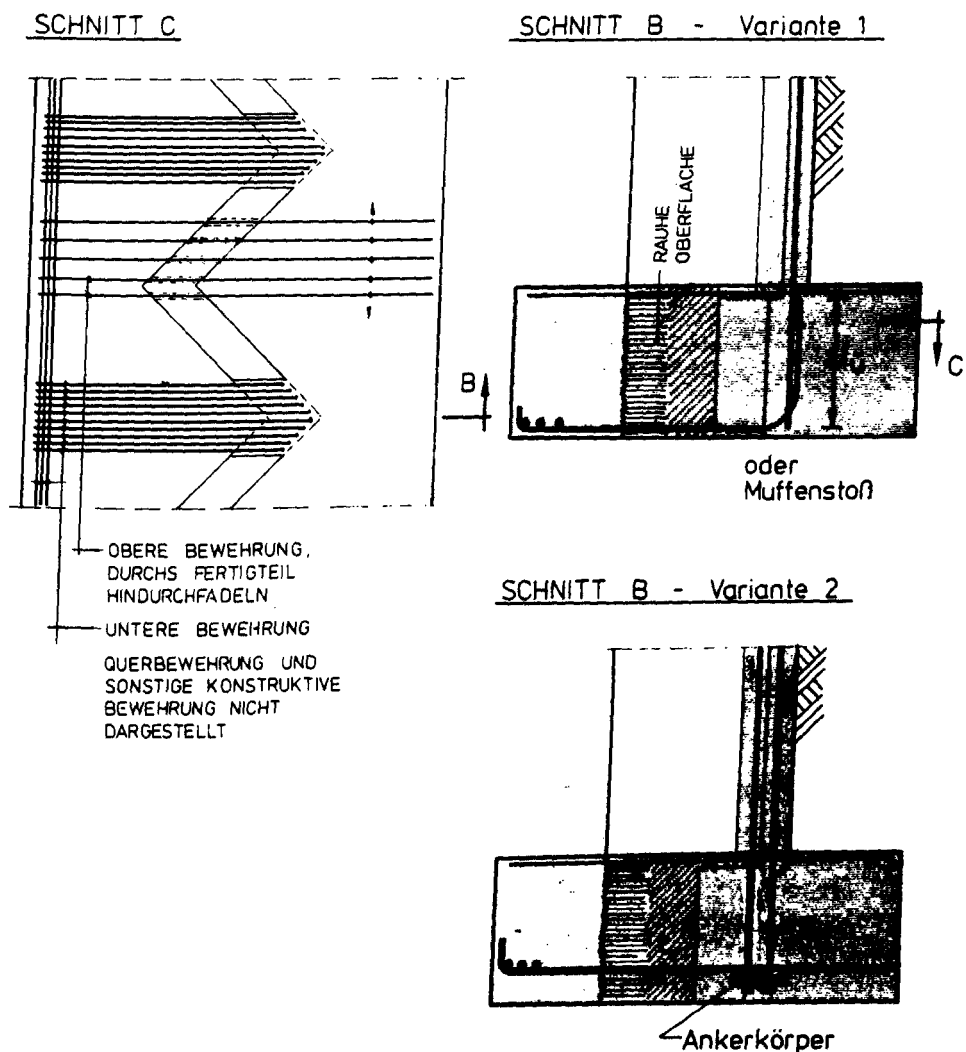


Bild 66: Faltwerkwiderlager

Schalaufwand. Durch die sich häufig wiederholenden Formen eignet sich diese Bauform jedoch gut für die Vorfertigung. Eine mögliche Ausführung ist in Bild 66 dargestellt.

Fundamentplatte und Auflagerbalken sind in diesem Vorschlag in Ortbeton erstellt; die Widerlagerwand besteht aus V-förmigen Fertigteil-Elementen, die über eine Vergußfuge schub- und zugfest miteinander verbunden sind. In dieser Vergußfuge ist auch die Biegezugbewehrung für die senkrechte Richtung untergebracht (Schnitt A). In Bild 67 ist ein möglicher Anschluß zwischen Fundament und Fertigteil dargestellt.



**Bild 67:** Fundamentanschluß der Faltwerk-Widerlagerwand

Die Widerlagerwand (Faltwerk) ist nicht in der Lage, nennenswerte Biegemomente in Querrichtung aufzunehmen. In Abhängigkeit von der Ausbildung der Flügel bieten sich daher hier grundsätzlich zwei Arten der Eckkonstruktion zwischen Flügel- und Widerlagerwand an:

Eine biegesteife (monolithische) Verbindung zwischen Flügel- und Widerlagerwand empfiehlt sich, wenn auch die Flügelwand als Faltwerk ausgebildet ist - hier treten in Querrichtung Biegebeanspruchungen in einer Größenordnung auf, die auch im Faltwerk vorhanden sind (Bild 68).

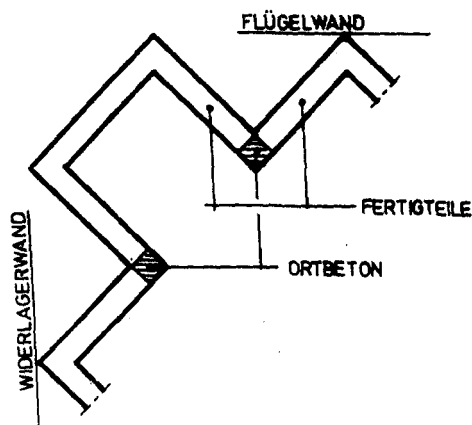


Bild 68: Monolithische Verbindung zwischen Flügel- und Widerlagerwand

Winkelstützwände, die biegesteif oder gelenkig an eine Faltwerk-Widerlagerwand angeschlossen sind, erzeugen zu große Kräfte in Querrichtung des Faltwerks, so daß zu empfehlen ist, Flügel- und Widerlagerwand durch eine Raumfuge voneinander zu trennen.

Flügelwände aus Bewehrter Erde oder aus Raumgitterstützwänden sollten bauartbedingt von einer Faltwerk-Widerlagerwand getrennt werden (vgl. Abschn. 5.1.4).



#### 5.3.4 WIDERLAGER AUS SEGMENTEN

Neben dem Verbinden der Fertigteile durch schlaaffe Bewehrung und Ortbeton besteht noch die Möglichkeit, die einzelnen Elemente zusammenzuspannen. Auf diese Art kann das Widerlager in einzelne, kleine Segmente zerlegt werden, ohne daß aufwendige Fugenkonstruktionen nötig sind. Diese Lösung hat den Vorteil, daß die einzelnen Elemente bei weitem nicht das hohe Gewicht der in den vorhergehenden Abschnitten

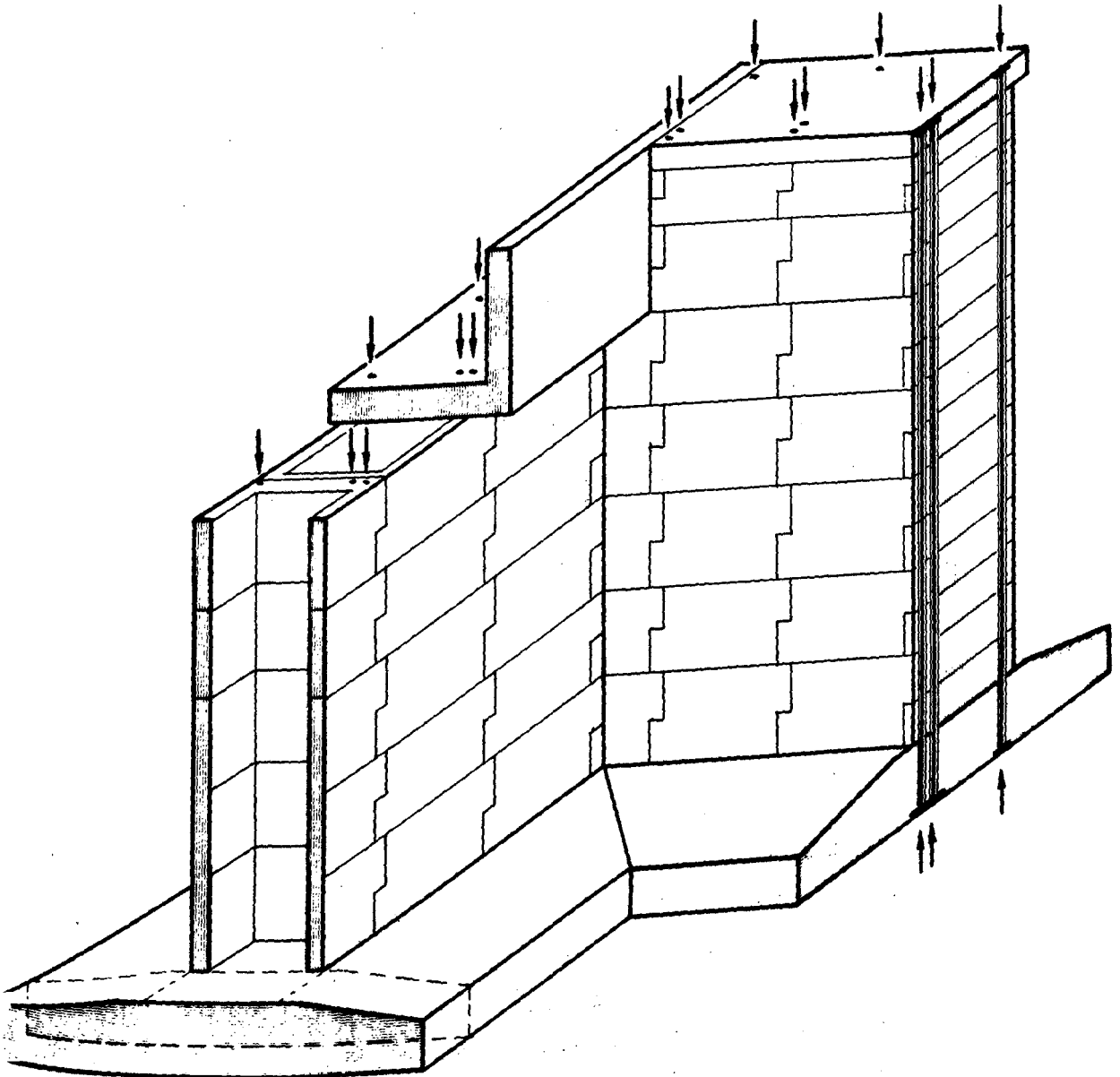


Bild 69: Widerlager aus Segmenten

erwähnten Fertigteile erreichen. Zudem wird es durch die große Anzahl gleich geformter Teile auch wirtschaftlich, aufwendigere Schalformen, durch die ein geringerer Materialverbrauch erzielt wird (→ gegliederte Elemente, Hohlkästen o. ä.), herzustellen. In Bild 69 wird ein Vorschlag für ein Widerlager aus Segmenten gemacht.

Nachteile dieser Bauweise sind zum einen die erforderliche, verhältnismäßig hohe Paßgenauigkeit der einzelnen Segmente, zum anderen die umfangreichen Montagearbeiten. Ob durch Widerlagerwände aus Segmenten wirtschaftliche Vorteile zu erzielen sind, muß sich in der Baupraxis zeigen; diese Frage läßt sich im Rahmen dieses Berichtes nicht beantworten.

Im folgenden soll noch auf einige Besonderheiten und Details dieser Bauart eingegangen werden:

- Scheibentragwirkung der Widerlagerwand.

Die Scheibentragwirkung einer Widerlagerwand aus Segmenten ist erforderlich, um schädliche, ungleichmäßige Setzungen der Wand zu verhindern. Die Widerlagerwand wirkt als Scheibe, wenn die Spaltzugkräfte, die durch die Lastausbreitung der Einzellasten in der Wand entstehen, auch aufgenommen werden können.

Reicht die Verdübelungswirkung der Spannglieder in Verbindung mit der entsprechenden Horizontalbewehrung in den Elementen hierfür nicht, kann eine Scheibentragwirkung der Widerlagerwand noch über die Quervorspannung der Wand (z. B. zentrische Vorspannung ohne Verbund, Aufnahme der Kräfte am Ende über Quertraversen) oder durch eine Profilierung der Längsfugen (Segmentbauart) erreicht werden.

- Zwängungen im Eckbereich.

Die Biegesteifigkeit der Wand ist in waagerechter Richtung (keine Vorspannung, Fugen) deutlich geringer als in senkrechter Richtung (Vorspannung → ungerissener Zustand). Man darf daher davon ausgehen, daß Zwängungen (Einspannungen in waagerechter Richtung) innerhalb kleiner Bereiche schadensfrei abgebaut werden. Diese Frage kann allerdings durch Ausbildung einer Raumfuge umgangen werden. Als Folge hiervon ist man in der Wahl der Flügelausbildung frei - es könnten z. B. auch Winkelstützwände (Abschn. 5.3.2), Raumgitterstützwände (Abschn. 5.2.3) oder Bewehrte-Erde-Konstruktionen (Abschn. 5.1.2) zur Ausführung kommen.

- Verankerung der Spannglieder im Fundament.

Vom Bauablauf her wäre es am günstigsten, die Elemente erst aufzustellen, dann die Spannglieder von oben einzufädeln und im Fundament zu verankern. Werden Spannglieder mit Gewinden verwandt, deren Spitze in Verbindung mit der Ausbildung der Verankerung im Fundament eine Zwangseinfädelung bewirkt, ist das nachträgliche Einbringen der Spannglieder ohne weiteres möglich; sie werden einfach von oben eingeschraubt.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Ausbildung herkömmlicher Kastenwiderlager können folgende Empfehlungen zur wirtschaftlicheren Gestaltung gegeben werden:

- Wandstärke so wählen, daß der  $k_h$ -Wert fürs maximale Moment zwischen 1,6 und 2,0 liegt.
- Wandstärke möglichst  $\leq 50$  cm bei Anordnung von Schwindbewehrung nach /10/.
- Lange Widerlagerwände (Breite : Höhe  $\epsilon \geq 3$ ) mit langen Flügeln ( $\epsilon \geq 1,5$ ) durch eine Fuge trennen (annähernd gleicher Stahlbedarf, einfachere Bewehrungsführung).
- Lange Widerlagerwände mit kurzen Flügeln ( $\epsilon \leq 1,5$ ) biegesteif verbinden (horizontale Tragwirkung im Flügel).
- Schmalere Widerlagerwände ( $\epsilon \leq 2$ ) möglichst biegesteif an die Flügelwände anschließen, dabei kurze Flügel (auch  $\epsilon \leq 0,4$ ) immer gründen (horizontale Tragwirkung in der Widerlagerwand).

Die Berücksichtigung der horizontalen Tragwirkung des ohnehin vorhandenen Auflagerbalkens kann die Schnittgrößen in der Widerlagerwand um bis zu 25 % verringern.

Durch die Anordnung von zusätzlichen Bauteilen wie

- Aussteifungsrippen (z.B. als Fertigteile),
  - Zugbändern (insbesondere zwischen langen Flügelwänden und zwischen Flügeln, die durch eine Fuge von der Widerlagerwand getrennt sind),
  - Abspannungen der Widerlagerwand
- können u.U. deutliche Verbesserungen des Tragverhaltens und somit geringere Baukosten er-

zielt werden. Deren Anwendung sollte daher grundsätzlich auf Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

Sinnvolle Alternativen zum Kastenwiderlager können sein:

- das zurückversetzte Widerlager, u.U. in Verbindung mit Bohrpfählen; wirtschaftlich insbesondere bei schmaleren Überbauten,
- das Widerlager aus Faltwerkswänden (Fertigteile),
- das Widerlager in Segmentbauweise (Fertigteile),
- das Stützwandwiderlager (Fertigteile oder Ortbeton).

Bei den drei letztgenannten Bauformen ist es manchmal erforderlich, die Flügel getrennt von der Widerlagerwand auszuführen (vgl. Abschn. 5.1.4). In solchen Fällen können Raumgitterstützwände (Krainerwände) als Flügelwände wirtschaftlich günstig sein.

Als Vorteil der Bauweise "Bewehrte Erde" sind die z.T. vergleichsweise sehr niedrigen Kosten zu nennen; Langzeiterfahrungen liegen allerdings noch nicht vor.

Notwendigkeit weiterer Forschung:

Für die Ermittlung der das Widerlager belastenden Erddrücke besteht z.Z. keine befriedigende Regelung; man bleibt mit den Belastungsannahmen meist auf der (unwirtschaftlichen) "sicheren Seite" (vgl. Abschn. 5.2.3). Es scheint daher dringend geboten, im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens durch Versuche abgesicherte Grundlagen zu erarbeiten, die es ermöglichen, direkt von der Nachgiebigkeit eines Widerlager-Bauwerks auf den anzusetzenden Erddruck zu schließen.

Die Verfestigung der Hinterfüllung (Kies-Sand-Gemisch) mit Zement verhindert nachträgliche Setzungen der Hinterfüllung. Es besteht Grund zu der Annahme, daß durch diese Maßnahme die Erddruckbelastung auf das Widerlager deutlich verringert werden kann (vgl. Abschn. 5.2.3). Auch dieser Frage sollte im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens dringend nachgegangen werden.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Bechert, H.:  
Sicherheit von Betonbauteilen:  
Bemerkungen zur Tragsicherheit von Brückenwiderlagern,  
Deutscher Betonverein e.V., 1973
- /2/ Bechert, H.:  
Massivbrücken,  
Betonkalender 1983/II, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München
- /3/ Becker, G.:  
Praktische Berechnung elastischer Einspannungen in starren Fundamentkörpern,  
Bautechnik 1979, S. 145 - 152
- /4/ v. Becker, P.:  
Erddruck- und Wandbewegungsmessungen an zwei hohen Flügelwänden eines Brückenwiderlagers,  
Bautechnik 1970, S. 306 - 313
- /5/ Bongartz, W.:  
Erste deutsche Stützwand nach dem Bauverfahren "Bewehrte Erde" bei Raunheim,  
Straße und Autobahn 1976, S. 190 - 197
- /6/ Boshinov, B.:  
Berechnung kurzer Pfähle bei Einwirkung von horizontalen Kräften und Biegemomenten,  
Bautechnik 1980, S. 377 - 380
- /7/ Brandl, H.:  
Tragverhalten und Dimensionierung von Raumgitterstützwänden,  
Schriftenreihe Straßenforschung des Bundesministeriums für Bauten und Technik, Heft 141
- /8/ Bundesminister für Verkehr:  
Richtzeichnungen für Straßenbrücken
- /9/ Bundesminister für Verkehr:  
Vorläufige Richtlinien für die Anwendung des Bauverfahrens "Bewehrte Erde", 1977
- /10/ Bundesminister für Verkehr, Deutsche Bundesbahn:  
ZTV-K 80, Zusätzliche Technische Vorschriften für Kunstbauten,  
Verkehrsblatt-Verlag, 1980

- /11/ Deinhard, J.-M.:  
Bewehrte Erde - Erfahrungsbericht über  
deutsche Bauwerke,  
Straße und Autobahn 1978, S. 48 - 54
- /12/ DIN 1055, Teil 2 mit Beiblatt  
Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngroßen,  
Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wand-  
reibungswinkel, 1976
- /13/ DIN 1075  
Betonbrücken - Bemessung und Ausführung,  
1981
- /14/ DIN 4014, Teil 1 mit Beiblatt  
Bohrpfähle herkömmlicher Bauart; Herstel-  
lung, Bemessung und zulässige Belastung,  
1975
- /15/ DIN 4014, Teil 2  
Bohrpfähle, Großbohrpfähle; Herstellung,  
Bemessung und zulässige Belastung (Vor-  
norm), 1977
- /16/ DIN 4085 mit Beiblatt  
Berechnung des Erddrucks für starre Stütz-  
wände und Widerlager; Vorläufige Berech-  
nungsgrundlagen (Vornorm), 1982
- /17/ DIN 4125, Teil 2  
Verpreßanker für dauernde Verankerungen  
(Daueranker) im Lockergestein; Bemessung,  
Ausführung und Prüfung
- /18/ Eibl, J.; Iványi, G.:  
Zum Problem der dreiseitig gelagerten  
Platte mit angreifenden Randmomenten,  
Bauingenieur 1969, S. 414 - 419
- /19/ Eibl, J.; Iványi, G.:  
Momententafeln für dreiseitig gelagerte  
Platten bei angreifenden Randmomenten,  
Beton- und Stahlbetonbau 1969, S. 264 - 265
- /20/ Eibl, J.; Iványi, G.; Schambeck, H.:  
Berechnung kastenförmiger Brückenwider-  
lager,  
2. Auflage, Werner-Verlag 1979



- /21/ Eisenbiegler, G.; Mouhtasseb, Z.:  
Dreiseitig gelagerte isotrope Rechteckplatten mit linear veränderlicher Dicke,  
Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Bd. 34/II, 1974
- /22/ Eisenbiegler, G.:  
Auflagerkräfte von Rechteckplatten mit Randmomentenbelastung,  
Beton- und Stahlbetonbau 1975, S. 7 - 11
- /23/ Eisenbiegler, G.:  
Dreiseitig frei drehbar gelagerte Rechteckplatten mit elastischem Innenunterzug parallel zum freien Rand,  
Beton- und Stahlbetonbau 1979, S. 68 - 73
- /24/ Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen", EAU,  
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1975
- /25/ Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben", EAB,  
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München, 1980
- /26/ Ewdokimow-Rostovsky, M.I.:  
Brückenwiderlager und -pfeiler aus Holzbeton,  
Beton und Eisen 1937, S. 321 - 323
- /27/ Fedders, H.:  
Seitendruck auf Pfähle durch Bewegung von weichen, bindigen Böden,  
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Geotechnik 1978
- /28/ Fey, T.:  
Ein Beitrag zur Berechnung von Brückenwiderlagern mit auskragenden Flügelmauern,  
Beiträge zum Massivbau, Beton-Verlag, 1967
- /29/ Floß, R.:  
Hinterfüllung und Entwässerung von Brückenwiderlagern und Stützmauern,  
Straße und Autobahn 1969, S. 428 - 438
- /30/ Floß, R.; Thamm, B.-R.:  
Bewehrte Erde - ein neues Verfahren im Erd- und Grundbau,  
Bautechnik 1976, S. 217 - 226

/31/ Floß, R.; Thamm, B.-R.:

Entwurf und Ausführung von Stützkonstruktion aus Bewehrter Erde,  
Tiefbau 1977, S. 119 - 126

/32/ Focsanu, E.:

Bestimmung des Erddrucks infolge einer nahe der Mauerkrone wirkenden konzentrierten Last,  
Brücke - Straße - Tunnel 1970, S. 16 - 18

/33/ Franke, E.:

Ruhedruck in kohäsionslosen Böden,  
Bautechnik 1974, S. 18 - 24

/34/ Funke, L.:

Erddruck auf Stützbauwerke infolge Straßenverkehrslasten nach DIN 1072,  
Bauingenieur 1983, S. 349 - 352

/35/ Ganga Rao, H.:

Conceptual Substructural Systems for Short-Span Bridges,  
ACI-Journal 1978, S. 1 - 13

/36/ Gantke, F.:

Stahlspundwände bei den Bauwerken des rollenden Verkehrs,  
Hoesch-Hüttenwerke, Dortmund, 1973

/37/ Graßhoff, H.; Siedek, P.; Floß, R.:

Handbuch Erd- und Grundbau, Teile 1 und 2,  
Werner-Verlag, 1982

/38/ Grundbautaschenbuch, Bd. 1 - 3,

Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

/39/ Gudehus, G.:

Materialverhalten von Sand: Anwendung neuerer Erkenntnisse im Grundbau,  
Bauingenieur 1980, S. 351 - 359

/40/ Hahn, E.:

Korrosionsschutz für Spannanker beim unterirdischen Bauen,  
Bautechnik 1983, S. 415 - 421

/41/ Herzog, M.:

Erddruck auf Brückenwiderlager,  
Straße - Brücke - Tunnel 1970, S. 73 - 74

- /42/ Kappei, H.:  
Der Pfahlstuhl - eine Stützwandlösung für  
besondere örtliche Gegebenheiten,  
Bauingenieur 1980, S. 121 - 124
- /43/ Karstedt, J.:  
Beiwerte für den räumlichen, aktiven Erd-  
druck bei rolligen Böden,  
Bauingenieur 1980, S. 31 - 34
- /44/ Klöckner, W.; Schmidt, H.G.:  
Gründungen,  
Betonkalender 1982/II, Verlag Wilhelm  
Ernst & Sohn, Berlin - München
- /45/ Maluche, E.:  
Bewehrte Erde - Bericht über ein interna-  
tionales Kolloquium,  
Bauingenieur 1980, S. 10 - 13
- /46/ Özden, K.:  
Berechnung einer an einem Rand und zwei  
Ecken frei drehbar gestützten Rechteck-  
platte unter gleichmäßig verteilter Bela-  
stung,  
Beton- und Stahlbetonbau 1968, S. 40 - 44
- /47/ Piaskowski, A.; Kowalewski, Z.:  
Application of Thixotropic Clay Suspen-  
sions for Stability of Vertical Sides of  
Deep Trenches without Strutting,  
Proc. 6. Int. Soil Mech. fond. Eng.  
Montreal (1965), Bd. 2, S. 526
- /48/ Pfohl, H.:  
Erfahrungen bei der Gründung von Brücken-  
widerlagern,  
Straße - Brücke - Tunnel 1972, S. 92 - 98
- /49/ Leonhardt, F.:  
Vorlesungen über Massivbau, Teil 6,  
Grundlagen des Massivbrückenbaues,  
Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg -  
New York, 1979
- /50/ Niemsch, H.:  
Großbohrpfähle - Konstruktionselement für  
Brückenunterbauten,  
Bauplanung - Bautechnik 1977, S. 52 - 55
- /51/ Ritter, K.; Fuchs, P.; Begemann, W.:  
Die grüne Beton-Krainerwand,  
Straße und Autobahn 1977, S. 512 - 518

- /52/ Schäffner, H.-J.:  
Pfahlgründungen für Brückenwiderlager,  
Bauplanung - Bautechnik 1977, S. 56 - 58
- /53/ Schäffner, H.-J.:  
Universelles Verfahren zur elastoplastischen Berechnung von Tiefgründungen,  
Bauplanung - Bautechnik 1978, S. 316 - 319
- /54/ Schmidt, H.-G.:  
Beitrag zur Ermittlung der horizontalen Bettungszahl für die Berechnung von Großbohrpfählen unter waagerechter Belastung,  
Bauingenieur 1971, S. 233 - 237
- /55/ Schmidt, H.-G.:  
Horizontale Belastbarkeit lotrechter Großbohrpfähle,  
Vortragsband zum Symposium: Stand von Normung, Bemessung und Ausführung bei Pfählen und Pfahlwänden,  
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, 1979
- /56/ Schmidt, H.-G.:  
Beitrag zur Berechnung von biegesteifen Pfählen für Brückenwiderlager,  
Bautechnik 1980, S. 276 - 279
- /57/ Schmiedel, U.:  
Seitendruck auf Pfähle,  
Bauingenieur 1984, S. 61 - 66
- /58/ Schöttgen, J.:  
Zur Ausbildung der Widerlager von Balkenbrücken,  
Straße und Autobahn 1978, S. 498 - 502
- /59/ Sherif, G.:  
Elastisch eingespannte Bauwerke,  
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München - Düsseldorf, 1974
- /60/ Siedek, P.:  
Erddruck auf Brückenwiderlager,  
Straße und Autobahn 1969, S. 121 - 130
- /61/ Siedek, P.:  
Merkblatt für die Hinterfüllung von Bauwerken,  
Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, 1977

- /62/ Sommer, H.:  
Einige Sonderanwendungen der Bodenstabilisierung mit Zement,  
Der Tiefbau 1968, S. 419 - 421
- /63/ Snitko, K.-N.:  
Der Erddruck auf eine waagerecht verschiebbare, mit kohäsionslosem Material hinterfüllte Wand,  
Bauingenieur 1972, S. 451 - 452
- /64/ Stein, D.:  
Brückenflügel als an zwei benachbarten Rändern eingespannte Platte,  
Beton- und Stahlbetonbau 1966, S. 62 - 68
- /65/ Steinfeld, K.:  
Über Stützwände in der Bauweise Bewehrte Erde,  
Straße und Autobahn 1976, S. 131 - 140
- /66/ Stiglat, K.; Wippel, H.:  
Platten, 2. Auflage,  
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München - Düsseldorf, 1973
- /67/ Supernok, K.-H.:  
Beitrag zur Ermittlung der statischen Schnittgrößen elastisch gebetteter Balken,  
Straße - Brücke - Tunnel 1972, S. 126 - 130
- /68/ Terzaghi, K.; Schultze, E.:  
Die Ermittlung der Größe von Bettungsziffern,  
Bauingenieur 1957, S. 312 - 315
- /69/ Titze, E.:  
Über den seitlichen Bodenwiderstand bei Pfahlgründungen,  
Bauingenieur-Praxis, Heft 77,  
Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München - Düsseldorf, 1970
- /70/ Watermann, G.:  
Verdrehung von Fundamenten unter Brückenflügeln,  
Bauingenieur 1979, S. 431 - 434
- /71/ Weidemann, H.:  
Brückenbau; Stahlbeton- und Spannbetonbrücken,  
Werner-Verlag, 1982

/72/ Werner, H.:

Biegemomente elastisch eingespannter Pfäh-  
le,  
Beton- und Stahlbetonbau 1970, S. 39 - 43

/73/ Wischers, G.; Dahms, J.:

Untersuchung zur Beherrschung von Tempera-  
turrissen in Brückenpfeilern durch Raum-  
und Scheinfugen,  
Beton 1968, S. 439 - 442, S. 483 - 490